
Département des systèmes
agroalimentaires et ruraux
CIRAD-SAR



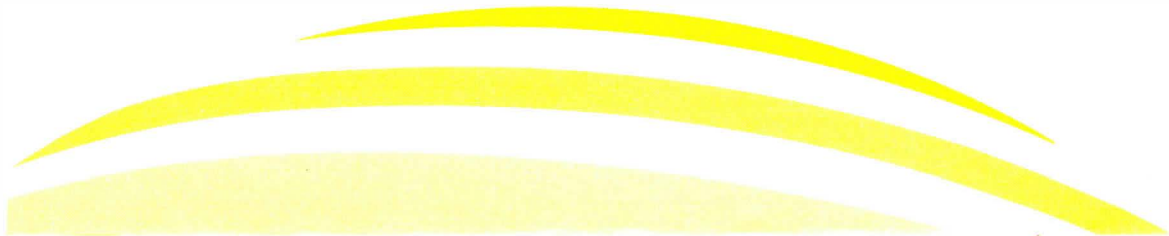
**JALON D'ECONOMIE
DES SYSTEMES RURAUX**

**LA MODELISATION D'UN SYSTEME
AGRAIRE VILLAGEOIS DES
SAVANES AFRICAÎNES PAR
LA PROGRAMMATION LINEAIRE
AVEC LE LOGICIEL LINDO**

Bruno BARBIER

**CIRAD - SAR
N° 83/93**

MARS 1993



**JALON D'ECONOMIE
DES SYSTEMES RURAUX**

**LA MODELISATION D'UN SYSTEME
AGRAIRE VILLAGEOIS DES
SAVANES AFRICAINES PAR
LA PROGRAMMATION LINEAIRE
AVEC LE LOGICIEL LINDO**

Bruno BARBIER

**CIRAD - SAR
N° 83/93**

MARS 1993

Résumé

Ce document expose une approche quantitative des systèmes agraires en utilisant la programmation linéaire. Cet outil est aujourd'hui d'un emploi aisé. Avec le logiciel LINDO il est possible d'écrire les équations en ligne, sans passer par la construction de matrices sur tableur et sans utiliser une formulation algébrique. D'autre part l'expérience a montré que la construction d'un modèle valide et pertinent ne nécessite pas une collecte très importante de données.

Dans ce document nous avons modélisé, non pas une exploitation agricole, mais un système agraire à l'échelle d'un village. Une échelle plus agrégée permet de mieux tenir compte des ressources appropriées en commun ou à accès libre, et des échanges inter-familiaux qui prédominent dans ce type d'économie. Le village en question se trouve dans la zone cotonnière du Burkina Faso qui connaît une évolution démographique telle, que les problèmes de productivité et de durabilité des systèmes y deviennent préoccupants.

A la maximisation du revenu monétaire et aux facteurs de production habituels terre, capital, travail nous avons ajouté progressivement l'élevage, la consommation céréalière, la fertilité, le risque, le bois, l'eau, le travail extérieur et le risque.

En paramétrant la population du village ce type de modèle permet d'envisager l'évolution agricole des zones étudiées sans avoir besoin d'utiliser des méthodes multipériodiques ou récursives.

Mots clés: *Modélisation, programmation linéaire, systèmes agraires, villages, environnement, prospective.*

SOMMAIRE

SOMMAIRE	2
RESUME	3
INTRODUCTION	4
Première partie: GENERALITES	5
I. La programmation linéaire	5
II. Démarche de l'étude	5
III. Quelques chiffres sur le système agricole de Bala	7
IV. Les commandes de LINDO	10
Deuxième partie: LES PREMIERS PAS DANS LA MODELISATION	11
I. Un exemple très simplifié	11
1. La fonction objectif	11
2. La contrainte de terre	11
3. La contrainte du travail d'installation	11
4. La contrainte du travail à la récolte	12
5. Les contraintes de trésorerie	12
II. Les résultats	13
1. La solution	13
2. L'analyse de sensibilité	14
3. Le paramétrage	16
III. La désagrégation du modèle	20
1. Le modèle désagrégé	20
2. Explications ligne par ligne	20
3. La solution	21
4. Le paramétrage de la population.	24
5. Discussion	25
Troisième partie: Les contraintes financières	27
I. Commercialisation et autoconsommation	27
1. Le modèle	27
2. La solution	27
3. Les surplus	28
4. L'analyse de sensibilité	28
5. Le paramétrage de la population	28
6. Discussion	29
II. Le financement de la campagne	29
III. Les activités extra-agricoles	32
IV. Le risque	32
Quatrième partie: La comparaison d'itinéraires techniques	35
I. Le modèle	35
II. La solution	36
III. Les surplus	36
IV. Le paramétrage de la population	37
V. Discussion	37
Cinquième partie: L'élevage.	38
I. Le modèle de base	38
1. Les boeufs de trait	38
2. Le troupeau extensif	38
3. La production de viande	38
4. Le gardiennage	39
5. Le bilan fourrager	39
6. La solution	40
7. Les surplus	41
8. Le paramétrage de la population	41
9. Discussion	42
II. Les cultures fourragères	42
III. La production de fumier	44

IV Le transport	48
Sixième partie: Quelques contraintes environnementales	52
I Le bois	52
II L'eau	52
III La solution	53
Septième partie: LES INVESTISSEMENTS	56
I L'achat d'une charrue	56
II La solution	56
Huitième partie: SIMULER l'avenir	59
CONCLUSION	60
BIBLIOGRAPHIE	61

RESUME

Grâce à la micro-informatique la programmation linéaire est aujourd'hui un outil très simple d'utilisation, très riche en informations micro-économiques et en possibilités de scénarios. Le logiciel Lindo semble particulièrement indiqué pour les petits modèles utilisés en économie rurale. Ce manuel propose un exemple de modélisation d'un système agricole burkinabé à l'échelle d'un village. Le modèle est de type statique mais permet d'effectuer des prospectives en fonction de la démographie et des ressources. Il prend en compte les contraintes habituelles, terre, capital, travail, mais aussi l'élevage, quelques contraintes environnementales et le risque.

Mots-clés: Modélisation, programmation linéaire, système agricole, village, prospective, ressource naturelle.

INTRODUCTION

Ce document est à usage pédagogique. Il est destiné aux étudiants et aux chercheurs en économie rurale souhaitant s'initier à la modélisation des systèmes agraires par la programmation linéaire.

Nous nous basons sur un exemple précis à savoir la modélisation d'un village dans la zone cotonnière du Burkina Faso. Nous utilisons le logiciel LINDO qui permet l'écriture du modèle sous forme d'équations et non pas sous forme de matrice.

Dans la première partie nous exposerons les principales définitions, les principales techniques et le vocabulaire de la programmation linéaire au travers d'un exemple simple.

Dans la deuxième partie nous montrerons comment développer les contraintes d'ordre financier du modèle à savoir la commercialisation, la trésorerie intra-annuelle, le risque et le travail extérieur.

Dans la troisième partie nous comparons quelques itinéraires techniques. C'est un des principaux intérêts de la modélisation.

Dans la quatrième partie l'élevage sédentaire et transhumant seront intégrés au modèle.

La cinquième partie abordera les problèmes environnementaux du bois et de l'eau, en incluant aussi le problème du transport.

La dernière partie montrera une manière d'intégrer les investissements à effets pluri-annuels. Nous prenons l'exemple des charrues.

Les procédures exposées ne sont pas les seules. Autant que possible nous citerons d'autres manières de construire un modèle.

Première partie: GENERALITES

Nous tenterons ici de définir succinctement ce qu'est la programmation linéaire. Ensuite nous exposerons la démarche de l'étude, suivi du résumé des principaux éléments du système agraire de Bala. Nous présenterons enfin le logiciel LINDO et ses principales commandes.

I. La programmation linéaire

La programmation linéaire est une procédure mathématique qui détermine l'allocation optimale des ressources rares.

En d'autres mots cette technique donne la combinaison des activités (cultures, élevage, migration...) qui permet de maximiser (ou minimiser) une fonction objectif (généralement un revenu...), en tenant compte des contraintes (terre, travail, capital, risque...).

Les économistes ruraux ont d'abord voulu utiliser cette technique pour apprendre aux paysans comment mieux gérer leur exploitation. Cette optique s'est traduite par une certaine déception. La lourde collecte des données, la difficulté à prendre en compte les risques ont conduit les conseillers de gestion à revenir à des outils plus simples.

Cependant bon nombre de modélisateurs se sont aperçus que les agriculteurs sont rationnels dans leurs choix et que les résultats de la programmation linéaire sont généralement proches de ce qui est fait dans la réalité. S'il y avait une différence importante, une enquête approfondie montrait que c'était une erreur ou une omission du modèle qui expliquait la différence et non pas une erreur du paysan.

Chez les économistes ruraux la programmation linéaire est donc restée un outil courant de simulation. Elle est particulièrement utilisée pour la prévision de ce qui arriverait si on introduisait un changement (prix, technique..) dans un système de production. Ce genre de calcul peut éventuellement être fait à la main tant qu'il n'y a que deux ou trois activités concurrentes. Mais en agriculture les activités sont généralement nombreuses et inter-reliées au sein d'un système relativement complexe. La programmation linéaire permet justement de mettre en relation de nombreuses activités au sein d'une formulation mathématique simple. L'ensemble de cette formulation est appelé **modèle** dans le sens où elle veut reproduire une réalité.

Pour un approfondissement théorique le lecteur peut se référer à l'ouvrage "la programmation linéaire dans les modèles de production" de Boussard et Daudin (1988).

II. Démarche de l'étude

1. La problématique

La problématique de la zone étudiée est classique dans les zones de savane. Dans notre cas il s'agit de la zone cotonnière du Burkina Faso. Cette région jusqu'ici peu peuplée et aux potentialités agricoles importantes est soumise depuis vingt ans à importante immigration et à une forte natalité. Les ressources naturelles seraient aujourd'hui menacées de graves dégradations (épuisement des sols, érosion, déforestation). La Recherche tente d'identifier les prochains blocages afin de proposer des remèdes techniques, économiques ou institutionnels adaptés.

2. Le cadrage théorique

Le cadrage théorique qui puisse servir de référence à cette problématique: démographie / ressources naturelles / techniques agricoles, dispose d'une littérature surabondante. Entre les thèses optimistes de Boserup (1965) et les prévisions néomalthusiennes plus sombres, le débat s'oriente aujourd'hui vers la notion de durabilité ("Sustainability" en anglais). Les recherches visant à proposer des nouveaux modes de développement plus écologiques s'appuient de manière croissante sur la pluri-disciplinarité et sur la modélisation. Pour plus d'informations nous renvoyons le lecteur à un travail bibliographique antérieur (Barbier 1991).

3. Méthodologie

Pour répondre aux questions de la problématique, nous avons sélectionné parmi les outils de la Recherche Opérationnelle (Valette 1991), la programmation linéaire. "Elle permet de tirer parti de données hétérogènes, incomplètes et d'évaluer différentes alternatives techniques. Elle permet de bien spécifier les relations entre l'agriculture et l'élevage. Le paramétrage de la population ou des prix permet d'explorer une grande diversité d'hypothèses de développement agricole" (Benoît-Cattin et al. 1992). En économie rurale c'est l'outil le plus utilisé pour les travaux quantitatifs prospectifs.

4. L'échelle villageoise

Il faut ensuite choisir l'échelle d'investigation. On a le choix entre l'exploitation, le village, la petite région, ou la région, voire la nation. Le choix se détermine en fonction de la pertinence de l'échelle mais aussi de la disponibilité des données. Nous avons sélectionné le village. Par rapport à l'exploitation, le ménage ou l'unité de production, "le village peut être un niveau d'investigation plus adéquat pour évaluer des impacts écologiques ou modéliser des communautés très intégrées comme en Afrique" (P.H.Calkins et Benoît-Cattin 1991). En effet le libre accès des villageois aux terres, aux fourrages, au bois et à l'eau du territoire villageois rend l'échelle de l'exploitation moins pertinente. L'échelle régionale quant-à-elle a déjà été abordée pour le Burkina Faso, par Thévenin (1976) et par Ruas (1990).

5. La collecte des données

L'étape suivante consiste à sélectionner un village représentatif de la zone, qui soit suffisamment riche en données quantitatives. Le village de Bala, enquêté de manière approfondie par l'IRCT, répondait à ces impératifs. Toutefois les paramètres technico-économiques (Prix, rendements..) restent à usage pédagogique. Ce sont des ordres de grandeur. Les itinéraires techniques et les aspects socio-économiques sont essentiellement inspirés des travaux de Faure (1989) et de l'Icrisat (1985). Les normes relatives à l'élevage proviennent surtout des travaux de Badini (1989). Quelques données ont été fournies par la télédétection (Laine et Al..1990). Certaines données manquantes ont été estimées d'après nos propres enquêtes.

6. La modélisation

La modélisation a consisté à mettre en équation (linéaire) le système jusqu'à l'obtention de résultats proches des données empiriques: c'est ce qu'on appelle la **validation** d'un modèle. Généralement le modèle est d'abord imprécis. On fait alors des hypothèses qu'on tente de vérifier sur le terrain. Les nouvelles contraintes identifiées sont alors intégrées dans le modèle. C'est d'ailleurs cet exercice qui fournit le plus souvent les résultats les plus intéressants d'un travail de modélisation.

Un modèle trop vaste qui intègre le maximum de contraintes, bien que plus réaliste, est difficile à interpréter. Par contre un modèle trop petit risque de ne pas représenter convenablement cette réalité. Actuellement on encourage plutôt les petits modèles qui intègrent les contraintes les plus sévères. L'interprétation est alors plus aisée.

7. Les simulations

Une fois calé sur la situation actuelle le modèle permet d'effectuer des simulations. En changeant successivement ou simultanément les prix, la population, les rendements ou en introduisant une nouvelle technique, et en observant la variation des résultats, on peut anticiper les réactions de certains systèmes agraires face à différentes mesures de politiques agricoles, ou des évolutions structurelles.

Dans ce travail nous avons limité les simulations et les interprétations qu'on peut en faire, pour privilégier la construction du modèle.

III. Quelques chiffres sur le système agraire de Bala

Le traitement des images satellites SPOT (Laine, Berger et al 1990) attribue au territoire du village 7570 ha, dont 2380 ha cultivés et 2484 ha incultivables. Il y aurait donc au total 5086 ha cultivables dont 2706 ha non cultivés (soit la moitié du cultivé).

Tableau 1: Répartition des surfaces par niveaux de mécanisation :

Cultures	Surface (ha) ha	Exploitations Unités	Personnes Unités
Manuels	537	114	878
Petits attelés	1187	98	1176
Grands attelés*	226	11	182
Motorisés	344	13	351
Total	2295	236	2587

Sources: Extrapolation de l'échantillon de Faure (1992).

* Les grands attelés sont les paysans disposant de deux attelages.

Tableau 2: Surfaces des trois principales cultures:

Cultures	Coton	Maïs	Sorgho/mil
Manuels	175	63	279
Petits Attelés	391	359	332
Grands Attelés	74	76	63
Motorisés	148	141	38
Total	788*	639	712

Source: Extrapolation des assolements de Faure (1990)

* La télédétection donne 667 ha de coton à la même époque (Laine et Al.1991)

Les autres cultures (Arachide, niébé, sésame...) couvrent 156 ha, mais seront négligées dans le modèle par soucis pédagogique. De même les cultures associées sont rares.

On a donc une proportion moyenne de 1/3 pour les trois principales cultures. Selon Faure 1990, le coton est stable depuis plusieurs années, le maïs est en nette progression, le sorgho et le mil sont en régression.

Tableau 3: Fourchettes de rendements estimées par les paysans:

Cultures	Coton	Maïs	Sorgho/mil
année normale:	1 à 1,5	3 à 3,5	1 à 1,2
année sèche:	0,8 à 1	2 à 2,5	0,8 à 0,9
Labour + billon sans précaution		1 à 1,5	1 à 1,1 Mil

Source ENGREF 1990.

En fonction des fourchettes de rendement précédentes nous avons sélectionné les moyennes récapitulées dans le tableau suivant:

Tableau 4: Les moyennes de rendements estimées (Kgs/ha):

Cultures	Coton	Maïs	Sorgho/mil
Rendement(kgs)	1200	2000	1000

Tableau 5: Les prix unitaires des produits (FCFA/kg)

Cultures	Coton	Maïs	Sorgho/mil
Prix unitaires	95	45	50

Source: Mercuriale de Bala (Centre Régionaux de Oromotion Agro Pastorale 1991 (Non publiées)).

Tableau 6: Produits bruts (FCFA/ha):

Cultures	Coton	Maïs	Sorgho/mil
Prod. brut	114000	90000	50000

Tableau 7: Les charges (FCFA/kg):

Cultures	Coton	Maïs	Sorgho/mil
Semences FCFA	1000 (40kg)	1000	-
NPK	17550 3sacs	11700	5850
UREE	5150 1sac	10300	-
ENGRAIS	23700	22000	5850
INSECTICIDES	15000 10lit	-	-
CHARGES	38700	23000	5850

Source: Estimations d'après les travaux de Faure (1991)

On retrace les charges au produit brut pour obtenir la marge brute:

Tableau 8: Les marges brutes (en FCFA/ha)

Cultures	Coton	Maïs	Sorgho/mil
Marge brute	75300	67500	44150

Tableau 9: Estimation des amortissements du matériel de traction affectés aux cultures (FCFA/ha):

Cultures	Coton	Maïs	Sorgho/mil
Amort.attelage	2000	2000	1000

Source: Nos propres enquêtes.

En soustrayant les charges directes aux marges brutes on obtient les marges directes suivantes:

Tableau 10: Marges directes des cultures (FCFA/ha):

Cultures	Coton	Maïs	Sorgho/mil
Marge directe	73300	65500	43150

Pour les revenus monétaires du village nous avons extrapolé les résultats des échantillons de Faure 1991.

Tableau 11: Les revenus monétaires:

Cultures	Nb de Personnes	Rev/pers FCFA	Total FCFA
Manuels	878	20000	17560000
Petits attelés	1176	39000	45864000
Grands attelés	182	39000	7098000
Motorisés	351	54000	18954000
Total	2587	34487	89476000

Source: Faure 1991.

En prenant les petits attelés comme référence nous pouvons faire les approximations suivantes:

Les recettes agricoles	70000	FCFA/pers
Les recettes non agricoles	9500	FCFA/pers
Les dépenses	57000	FCFA/pers
Les dépenses agricoles	31000	FCFA/pers
Les dépenses non agricoles	26000	FCFA/pers

Concernant l'élevage, les sédentaires n'ont que des boeufs de trait (<300) et des ovins/caprins (> 300) (Faure 1990). Un nombre indéterminé (plusieurs milliers) de zébus transhumants séjournent dans le territoire du village en saison sèche.

IV. Les commandes de LINDO

LINDO est considéré comme un des logiciels standards de la programmation linéaire. Il permet une écriture sous forme d'équations linéaires et non pas sous forme de matrice comme la plupart des autres logiciels (QPRO, EXCELL, XA...). Il ne permet pas non plus l'écriture des modèles sous forme mathématique plus condensée comme le font GAM'S ou LINGO. LINDO permet de développer des modèles relativement grands mais convient mieux aux petits modèles.

Pour commander LINDO s'adresser à:

LINDO SYSTEMS INC.
P.O.B. 148231
CHICAGO, IL 606 14-9851

Pour l'installation du logiciel se référer au manuel.

Les principales commandes sont les suivantes:

Tapez HELP pour lire les premières explications.

Tapez COM pour obtenir la liste des commandes de LINDO

Tapez HELP et la commande désirée pour avoir sa signification.

Pour commencer un modèle tapez EDIT, validez et vous obtenez un éditeur dans lequel vous écrivez vos équations.

Pour sauver un fichier sous forme LINDO tapez SAVE, l'unité du lecteur et le nom du fichier.

Pour charger un fichier sauvé sous LINDO tapez RETR *.* et validez.

Pour sauver le fichier (et les résultats) en codes ASCII (récupérable sur traitement de texte) tapez DIVE, donnez un nom de fichier puis tapez:

LOOK ALL, pour sauvegarder le modèle en code ASCII,

GO, pour sauvegarder la solution en code ASCII

Pour désactiver DIVE tapez RVRT.

Pour charger un fichier sauvé en code ASCII tapez TAKE, le nom du lecteur puis *.* .

ex TAKE a:*. *

Pour relire et modifier un fichier, chargez-le puis tapez EDIT

Pour lancer le programme tapez GO

Pour paramétrer une contrainte, tapez PARA et suivez les instructions.

Pour l'analyse de sensibilité RANGE

Pour une lecture matricielle du modèle, tapez PIC

m. Deuxième partie: LES PREMIERS PAS DANS LA MODELISATION

Au départ nous présenterons un modèle très simple de 5 lignes permettant d'interpréter les principaux types de résultats qu'offre LINDO. Dans un deuxième temps nous montrerons comment désagréger ce modèle de façon à pouvoir isoler et analyser les variables les plus pertinentes.

I. Un exemple très simplifié

Après avoir lancé le logiciel LINDO et son éditeur par la commande EDIT, vous pouvez commencer à introduire les lignes suivantes. Il n'est pas nécessaire de respecter rigoureusement les espaces tels qu'ils sont présentés ci-dessous. D'autre part si la ligne est trop longue il faut la sectionner en tapant sur la touche ENTREE.

```

MAX 65500 MAIS + 73300 COTON + 43150 SORGHO
SUBJECT TO
TERRE) MAIS + COTON + SORGHO <= 5086
W1) 43 MAIS + 43 COTON + 32 SORGHO <= 83750
W2) 31 MAIS + 107 COTON + 41 SORGHO <= 125000
CAPITAL) 25000 MAIS + 40700 COTON + 6850 SORGHO <= 50000000

```

1. La fonction objectif

Nous admettons que l'objectif des paysans de la zone cotonnière est actuellement de maximiser un revenu. Dans cet exemple la fonction objectif consistera donc à maximiser la somme des marges directes (en FCFA) de trois activités (en ha):

MAX 73300 COTON + 65500 MAIS + 43150 SORGHO

Ce qui signifie maximiser:

73300 (FCFA/ha) * COTON (ha) + 65500 (FCFA/ha) * MAIS (ha) + ..

Nb: Les activités sont parfois appelées variables.

Ensuite on tape ST signifiant SUBJECT TO avant d'introduire les lignes de contraintes. Celles-ci peuvent être précédées d'un intitulé suivi d'une parenthèse (sinon la ligne prend un n° par défaut).

2. La contrainte de terre

La somme des surfaces cultivées doit être inférieure ou égale à la surface cultivable sur le territoire du village soit 5086 hectares :

TERRE) COTON + MAIS + SORGHO <= 5086

En d'autre mots, dans cette ligne de contrainte la somme des emplois doit être inférieure ou égale aux ressources.

3. La contrainte du travail d'installation des cultures

Selon nos enquêtes deux pointes de travail limitent la surface des cultures. La première se situe entre mai et juillet à l'installation des cultures et la deuxième à la récolte entre octobre et janvier.

Tableau 12: Les temps de travaux (jour par ha):

Cultures	Coton	Maïs	Sorgho
Instal. des cultures(j/ha)	43	43 *	32

Sources: ICRISAT 1985_:

* Nous avons modifié les temps du maïs car la culture du maïs a beaucoup évolué depuis l'enquête de l'ICRISAT (Barbier 1991).

On compte actuellement environ 2500 habitants (Faure 1991). En zone de savane la plupart des auteurs (Ancey, Faure 1991) comptent généralement un actif pour un inactif, soit ici 1250 actifs.

La période de semis dure 80 jours (ICRISAT 1985). Sur un mois Labonne (1990) propose 25 jours de travail. On a donc un disponible de 67 jours par actif pour les 80 jours. Avec 1250 actifs nous arrivons à un total de 83750 jours:

$$W1) 43 \text{ COTON} + 43 \text{ MAIS} + 32 \text{ SORGHO} \leq 83750$$

Qui signifie que dans la période W1) la somme des besoins en travail pour l'installation des cultures soit $(43 \text{ (j/ha)} * \text{COTON (ha)} + \dots)$ doit être inférieure ou égale aux 83750 jours de travail disponibles.

4. La contrainte du travail à la récolte

Tableau 13: Les temps de travaux à la récolte

Cultures	Coton	Maïs	Sorgho
Récolte (kg/hr)	1,4	8	3,1
Récolte (j/ha)	107	31	41

Sources: ICRISAT 1985.

Prenons 8 heures de travail par jour, les temps de récolte par kilo de l'ICRISAT et les rendements des cultures de l'ENGREF (1989), on obtient un besoin en jour de récolte de 31 jours pour le maïs, 107 pour le coton et 41 pour le sorgho.

$$W2) 31 \text{ MAIS} + 107 \text{ COTON} + 41 \text{ SORGHO} \leq 125000$$

La période des récoltes s'étend d'octobre à janvier soit 120 jours, chaque actif peut fournir 100 jours. Les actifs sont 1250, soit un total de 125000 jours.

5. Les contraintes de trésorerie

Les intrants sont achetés avant la campagne au comptant ou à crédit. Par soucis pédagogique nous n'intégrons pas encore le crédit. Nous faisons l'hypothèse que le village peut globalement mobiliser 50 millions de FCFA.

$$\text{CAPITAL}) 25000 \text{ MAIS} + 40700 \text{ COTON} + 6850 \text{ SORGHO} \leq 50000000$$

II. Les résultats

L'analyse "post-optimale" consiste à interpréter les résultats après que le programme ait fourni une solution optimale. L'interprétation porte sur la valeur des variables, les coefficients, les paramètres, les coûts réduits, les valeurs duales et l'analyse de sensibilité.

1. La solution

Tapez ensuite GO, à moins d'un message d'erreur vous obtiendrez:

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 2
(Sans importance)

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

La valeur de la fonction objectif (en FCFA):

1) .12841400E+09

Le modèle a maximisé la fonction objectif à 128 millions de FCFA. Si on retire l'autoconsommation de céréales (250 kilos par 2500 personnes par 45 FCFA, soit 28 millions de FCFA) il reste 100 millions FCFA de revenu monétaire, ce qui n'est pas trop éloigné du solde global de trésorerie de 90 millions extrapolé à partir des enquêtes de Faure (1992).

L'assolement est très semblable à la réalité:

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
MAIS	701.476300	.000000
COTON	666.519100	.000000
SORGHO	778.943600	.000000

VARIABLE = Ce sont les activités du modèle.

VALUE = C'est le niveau optimal des activités du modèle.

REDUCED COST (Coût réduit) d'une activité **inutilisée**:

- C'est le montant par lequel la marge (ici en FCFA) de la variable doit être augmentée pour que la variable en question obtienne une valeur positive (dans sa propre unité) dans la solution optimale, ou
- Montant duquel le revenu total va diminuer si une unité de cette activité est entrée de "force" dans la solution.

La solution optimale serait ainsi de cultiver 666 ha de coton, 701 ha de maïs et 778 ha de sorgho. Bien que très semblable aux valeurs empiriques, nous estimons ce modèle trop simple pour le déclarer valide. Il a pour l'instant une valeur uniquement pédagogique.

Comme les 3 activités ont une valeur non nulle dans la solution, il n'y a pas de Coût Réduit. Nous verrons des exemples de coûts réduits non nuls ultérieurement.

Les éventuels surplus

<i>ROW (Ligne)</i>	<i>SLACK OR SURPLUS (Surplus)</i>	<i>DUAL PRICES (Valeur duale)</i>
<i>TERRE)</i>	<i>2939.061000</i>	<i>.000000</i>
<i>W1)</i>	<i>.000000</i>	<i>1241.283000</i>
<i>W2)</i>	<i>.000000</i>	<i>3.283425</i>
<i>CAPITAL)</i>	<i>.000000</i>	<i>.480921</i>

ROW = La ligne de contrainte concernée.

SLACK or SURPLUS = Les éventuels surplus de ressources non entièrement utilisées.

DUAL PRICES (valeur duale ou marginale) d'une contrainte:

Le montant de l'augmentation de la valeur de la fonction objectif si on ajoute une unité de la ressource associée à cette contrainte.
ou (ce qui revient au même):

Le montant de la baisse de la valeur de la fonction objectif si on enlevait une unité de la ressource associée à cette contrainte.

Il reste 2939 hectares cultivables en surplus. Par contre les deux contraintes de travail sont saturées. Si on ajoutait une journée de disponibilité de travail en plus pour la période W1 le village gagnerait 1241 FCFA en plus, c'est la valeur duale ou marginale d'une unité de travail. Pour la période W2 ce serait seulement 3 FCFA. De même tout le capital utilisable est utilisé. L'ajout d'un FCFA de capital rapporterait 0,48 FCFA au résultat de la fonction objectif.

2. L'analyse de sensibilité

Le programme propose une analyse de sensibilité. Elle permet de dire si cette solution est stable ou si un petit changement de paramètre peut la faire changer. Tapez Y pour Oui. N pour Non.

Le logiciel indique l'intervalle dans lequel la base de la solution ne change pas.

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:

<i>VARIABLE</i>	<i>CURRENT COEF</i>	<i>OBJ COEFFICIENT RANGES</i>	
		<i>ALLOWABLE INCREASE</i>	<i>ALLOWABLE DECREASE</i>
<i>MAIS</i>	<i>65500.000000</i>	<i>164.583000</i>	<i>14627.090000</i>
<i>COTON</i>	<i>73300.000000</i>	<i>77165.170000</i>	<i>328.172900</i>
<i>SORGHO</i>	<i>43150.000000</i>	<i>7434.394000</i>	<i>245.704300</i>

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED: Intervalle dans lequel la base de la solution ne change pas, c'est-à-dire que les mêmes activités restent dans la solution.

La fonction objectif peut changer, le niveau des activités (en hectares, en kilos...) peut changer, mais les mêmes activités restent. A la limite de cet intervalle des activités peuvent entrer ou sortir de la solution ou des lignes de contraintes deviennent limitantes ou au contraire ne sont plus limitantes.

VARIABLE	Activités du modèle
-----------------	---------------------

CURRENT COEF	Coefficient actuel des activités dans la fonction objectif.
OBJ COEFFICIENT RANGES	Intervalle des coefficients des activités de la fonction objectif
ALLOWABLE INCREASE	Hausse permise du coefficient. Au delà la base change.
ALLOWABLE DECREASE	Baisse permise du coefficient. Au delà la base de la solution change.

La marge du maïs est à 65500 FCFA/ha. Pour qu'il y ait changement (substitution de variables ou de contraintes) dans la solution il faudrait l'augmenter de plus de 164 FCFA. Si on la diminue de 14627 FCFA il y a aussi changement.

Il suffit de revenir au modèle avec EDIT, d'augmenter le maïs de 165 FCFA. On obtient

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 2

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) .12853020E+09

soit une légère augmentation du revenu:

<i>VARIABLE</i>	<i>VALUE</i>	<i>REDUCED COST</i>
<i>MAIS</i>	1864.353000	.000000
<i>COTON</i>	83.320990	.000000
<i>SORGHO</i>	.000000	.624023

Le sorgho disparaît, le coton diminue sensiblement et c'est le maïs qui prend presque tout l'assolement.

<i>ROW</i>	<i>SLACK OR SURPLUS</i>	<i>DUAL PRICES</i>
<i>TERRE)</i>	3138.326000	.000000
<i>W1)</i>	.000000	1244.357000
<i>W2)</i>	58289.700000	.000000
<i>CAPITAL)</i>	.000000	.486306

Il reste 3138 ha de non cultivé. La contrainte d'installation est toujours saturée. Une journée de main d'oeuvre d'installation en plus coûterait 1244 FCFA. La valeur duale d'une journée de récolte est nulle puisqu'il reste des journées inutilisées. En effet le coton (long à récolter) a diminué. Le capital est entièrement utilisé.

Cette simulation a montré l'intérêt de l'analyse de sensibilité. Dans notre cas il suffit d'une variation minime dans la marge d'une culture (le maïs) pour avoir une très grosse variation. Le modèle est donc très sensible.

Remettons le maïs à 65500 FCFA relançons le programme et reprenons l'analyse de sensibilité.

Pour le coton, il faudrait soit augmenter sa marge de 77125 FCFA pour qu'il y ait changement dans la base de la solution, soit diminuer de 328 FCFA seulement.

Pour le sorgho, seule une augmentation de plus de 7434 FCFA ou une baisse de 245 FCFA provoquerait un changement.

Le tableau qui suit montre les résultats de l'analyse de sensibilité non plus sur les variables, mais sur les membres de droite des équations.

RIGHTHAND SIDE RANGES (Membre de droite)			
ROW	CURRENT RHS	ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
TERRE	5086.000000	INFINITY	2939.000000
W1	83750.000000	41434.580000	27843.610000
W2	125000.000000	35161.790000	58289.700000
CAPITAL	50000000.000000	12041420.000000	21335230.000000

Le RIGHTHAND SIDE RANGES = membre de droite des équations indique les quantités de ressources disponibles.

ROW = La ligne de contrainte du modèle.

CURRENT RHS = La valeur actuelle du membre de droite (en général la ressource).

ALLOWABLE INCREASE = Hausse permise du coefficient. Au delà la base change.

ALLOWABLE DECREASE = Baisse permise du coefficient. Au delà la base de la solution change.

Le RHS (membre de droite) est par exemple la valeur de 5086 ha située à droite du signe \leq dans l'équation sur la disponibilité en terre. Pour la contrainte de terre la solution resterait la même aussi longtemps qu'on ne diminue pas le cultivable (les 5086 ha) de plus de 2939 ha. On peut augmenter la surface à l'infini sans qu'il y ait changement.

Pour la contrainte de travail W1 il y aura un changement si on augmente la disponibilité de plus de 41434 jours ou si on la diminue de plus de 27843 jours. Le raisonnement est le même pour les deux autres lignes.

3. Le paramétrage

Le paramétrage consiste à faire varier les paramètres (population, rendements, prix) à relancer le programme et à mesurer l'influence des paramètres sur le système.

Nous avons déjà montré un exemple à la page précédente. Le lecteur pourra aisément s'entraîner tout seul.

La commande PARA

Il est possible de voir automatiquement toutes les valeurs des ressources (Membre de droite des équations) pour lesquelles il y a un changement dans la base de la solution. On utilise alors la commande PARA.

Nous avons par exemple paramétré le capital disponible en début de campagne de 1 FCFA à 200 millions de FCFA, dans le but de voir rapidement quelle est l'influence du capital disponible sur le système.

Au préalable on lance le programme avec 1 FCFA de capital. On obtient:

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 6.2992700

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
MAIS	.000000	91981.750000
COTON	.000000	183080.300000
SORGHO	.000146	.000000

Avec très peu de capital, en début de campagne, la meilleure solution est de ne cultiver que du sorgho. C'est lui qui permet de maximiser le revenu du village, puisque le sorgho est la culture la moins exigeante en capital.

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
TERRE)	5086.000000	.000000
W1)	83749.990000	.000000
W2)	125000.000000	.000000
CAPITAL)	.000000	6.299270

D'autre part seule la contrainte de capital est saturée. Un franc de capital en plus permettrait d'augmenter la fonction objectif de 6,29 FCFA. A ce stade il n'est pas vraiment utile de faire l'analyse de sensibilité.

Ensuite on lance la commande PARA. Le programme demande:

ROW?

Répondez CAPITAL

LINDO demande ensuite:

NEW RHS VALUE?

Il suffit de taper un chiffre très grand. Prenons 200 millions. Le programme va chercher entre 1 et 200000000 les valeurs du capital disponible pour lesquelles il y aura un changement dans la base de la solution. Quand il a trouvé, le programme expose le tableau suivant:

VAR OUT	VAR IN	PIVOT ROW	RHS VAL	DUAL PRICE BEFORE PIVOT	OBJ VAL
			1.00000	6.29927	6.29927
SLK 3	COTON	4	.179277E+08	6.29927	.112932E+09
SLK 4	MAIS	3	.286648E+08	.486332	.118153E+09
SORGHO SLK 5		5	.620414E+08	.480921	.134205E+09
			.200000E+09	-.888178E-15	.134205E+09

Les intitulés signifient:

VAR OUT = Variable sortant de la solution optimale.
 VAR IN = Variable entrant dans la solution optimale.
 PIVOT ROW = Ligne de contrainte qui provoque le changement.
 RHS VAL = Valeur du membre de droite (ex: la population).
 DUAL PRICE BEFORE PIVOT = Valeur duale ou marginale avant le pivot.
 OBJ VAL = Valeur de la fonction objectif (ex: le revenu).

Lisons d'abord la colonne RHS VAL. Ce sont les valeurs du capital disponible pour lesquelles il y a un changement dans la base de la solution. Entre 1 et 200000000 on trouve d'abord $.179277E+08$ qui équivaut à 17,9 millions de FCFA. Il y a également un changement à 28,6 millions et à 62 millions.

Regardons ensuite la première ligne. Elle indique qu'à 1 FCFA d'investissement, la valeur marginale (d'un FCFA d'investissement) est de 6,299 FCFA. Le revenu du village serait également de 6,29 FCFA. Ce résultat n'a pas une grande valeur explicative. Continuons.

A la ligne suivante, on lit SLK 3 qui signifie SLACK de la ligne n°3. Le SLACK signifie SURPLUS et la 3ème ligne du modèle est la deuxième ligne des contraintes puisque la fonction objectif est la ligne n°1.

```

1  MAX   65500 MAIS + 73300 COTON + 43150 SORGHO
    SUBJECT TO
2  TERRE)  MAIS + COTON + SORGHO <= 4760
3  W1)  43 MAIS + 43 COTON + 32 SORGHO <= 83750
4  W2)  31 MAIS + 107 COTON + 41 SORGHO <= 125000
5  CAPITAL) 25000 MAIS + 40700 COTON + 6850 SORGHO <= 500000000

```

La troisième ligne du modèle est donc W1, la contrainte de temps d'installation. Dire que SLK 3 sort de la solution (Colonne VAR OUT), revient à dire que le surplus (SLK 3) sort de la solution. Avant il y avait un surplus de main d'œuvre, maintenant il n'y en a plus. Cette ligne de contrainte devient limitante.

En fait en augmentant le capital, le village pouvait cultiver de plus en plus de sorgho jusqu'à saturation de la contrainte de main d'œuvre à l'installation (ligne W1).

Après SLK 3, on lit COTON dans la colonne VAR IN. Le coton entre donc dans la solution. En effet comme la commande PARA continue à augmenter le capital disponible, il se crée un surplus de capital. Il arrive un moment où il devient plus intéressant de remplacer le sorgho par une culture qui était auparavant limitée par le capital. Le modèle trouve que le coton est le plus intéressant.

La colonne suivante indique une valeur de 4 pour PIVOT ROW. Ceci signifie que c'est la ligne 4 qui a fait ("pivoter") la solution. La ligne 4 est W2, le temps de récolte.

La colonne suivante, RHS VAL, indique 17,9 millions de FCFA de capital disponible. C'est à ce seuil de capital disponible qu'il devient intéressant de faire du coton.

La colonne suivante (DUAL PRICE BEFORE PIVOT) désigne donc la valeur marginale d'un franc CFA d'investissement avant l'introduction du coton. Cette valeur marginale est donc restée constante de 1 FCFA à 15 millions de FCFA.

La colonne OBJ VALUE indique 112 millions de FCFA. C'est le montant du revenu du village lorsqu'on a 17,9 millions de FCFA de capital disponible.

On fait le même raisonnement pour les lignes suivantes.

VAR OUT	VAR IN	PIVOT ROW	RHS VAL	DUAL PRICE BEFORE PIVOT	OBJ VAL
			1.00000	6.29927	6.29927
SLK 3	COTON	4	.179277E+08	6.29927	.112932E+09
SLK 4	MAIS	3	.286648E+08	.486332	.118153E+09
SORGHO	SLK 5	5	.620414E+08	.480921	.134205E+09
			.200000E+09	-.888178E-15	.134205E+09

C'est maintenant la SLK 4 (Surplus de la ligne 4) qui est la ligne des temps de récolte. Elle est saturée et devient à son tour limitante.

Le maïs qui consomme peu de temps à la récolte entre donc dans la solution.

La ligne du pivot est la ligne N°3, c'est-à-dire la ligne des temps d'installation.

Cette entrée se passe quand on atteint 28,6 millions de FCFA de capital disponible.

Depuis 17,9 millions de FCFA de capital disponible jusqu'à 28 millions, chaque FCFA investis ne rapporte plus que 0,486 FCFA dans la fonction objectif.

VAR OUT		VAR IN	PIVOT ROW	RHS VAL	DUAL PRICE BEFORE PIVOT	OBJ VAL
SLK	3	COTON	4	.179277E+08	6.29927	.112932E+09
SLK	4	MAIS	3	.286648E+08	.486332	.118153E+09
SORGH	SLK	5	5	.620414E+08	.480921	.134205E+09
				.200000E+09	-.888178E-15	.134205E+09

A la ligne suivante le sorgho sort de la solution. Le surplus de la ligne 5 (SLK 5) a maintenant une valeur non nulle. Il reste donc du capital disponible. La ligne du pivot est la ligne 5. Cette opération se réalise quand le capital disponible dépasse 62 millions de FCFA. De 28,6 à 62 millions chaque FCFA en plus ne rapporte que 0,48 FCFA à la fonction objectif. Le revenu du village est à son maximum à 134 millions de FCFA.

La dernière ligne montre ce qui se passe à 200 millions de FCFA de capital disponible. C'était une valeur arbitraire que nous avons choisi pour englober les valeurs qui nous intéressaient. Il n'a pas de signification particulière.

Pour affiner l'analyse il faudrait relancer une simulation pour chaque valeur du RHS (membre de droite) où il y a changement et pour quelques valeurs intermédiaires. On peut alors obtenir l'évolution des variables (revenu, assolement..) en fonction du RHS (Membre de droite) tel que la main d'oeuvre, la terre ou le capital disponible.

Discussion

Les premiers résultats et les paramétrages montrent que la prise de décision au niveau d'un système de production dépasse la simple comparaison des marges par activité. Les acteurs choisissent leurs activités en fonction des contraintes les plus sévères.

Le paramétrage du capital a montré aussi l'importance du capital disponible en début de campagne. Le manque de capital (crédit ou autofinancement) explique souvent la persistance de cultures peu rentables à côté de cultures beaucoup plus rentables

III. La désagrégation du modèle

Pour mieux analyser l'influence des prix, des rendements, de la démographie... sur le système il peut être utile de désagréger c'est-à-dire de décomposer le modèle en variables plus élémentaires. Par exemple l'activité MAIS peut être décomposée en activité production, vente, consommation, charges etc...

1. Le modèle désagrégué

Appelons le "savane" pour le retrouver plus loin:

MAX 45 VENMAIS + 95 VENCOTON + 50 VENSOR - 18000 COTON - 5850 NPK - 5150 UREE - 3000 MAIS - 1000 SORGHO

SUBJECT TO

TER) COTON + MAIS + SORGHO + JACHERE = 5086

W1) 43 COTON + 43 MAIS + 32 SORGHO - 33.5 POP <= 0

W2) 107 COTON + 31 MAIS + 41 SORGHO - 50 POP <= 0

LCOT) VENCOTON - 1200 COTON = 0

LMAIS) VENMAIS - 2000 MAIS = 0

LSOR) VENSOR - 1000 SORGHO = 0

LNPK) 3 COTON - NPK + 2 MAIS + SORGHO <= 0

LUREE) COTON - UREE + 2 MAIS <= 0

LIMPOP) POP = 2500

CAPITAL) 40700 COTON + 25000 MAIS + 6850 SORGHO - 20000 POP <= 0

Pour ne pas confondre dans l'analyse les noms des lignes et les variables, nous ajoutons un L devant les noms des lignes qui peuvent faire double emploi. Ex: LCOT pour la ligne déterminant les emplois du coton.

2. Explications ligne par ligne

Les paramètres sont issus des tableaux précédents:

MAX 45 VENMAIS + 95 VENCOTON + 50 VENSOR - 18000 COTON - 5850 NPK - 5150 UREE - 3000 MAIS - 1000 SORGHO

Les marges brutes du premier modèle sont désagrégées en activité de vente (VENCOTON en kilos...) et en activités d'achat (précédées d'un signe négatif). Elles sont multipliées par les prix unitaires en FCFA. 45 VENMAIS signifie 45 FCFA/kg de maïs multiplié par la quantité de maïs vendue en kilos.

Nous avons compté les engrais à part. NPK, UREE sont des sacs d'engrais. COTON, MAIS, et SORGHO sont des hectares et leur paramètre concernent les pesticides, les semences et les amortissements.

Les lignes de contraintes correspondantes sont les suivantes:

LCOT) VENCOTON - 1200 COTON = 0

LMAIS) VENMAIS - 2000 MAIS = 0

LSOR) VENSOR - 1000 SORGHO = 0

La ligne COT) indique que le rendement en kg/ha (1200) multiplié par la surface (COTON) alimente l'activité vente de coton (VENCOTON). Pour l'instant on fait l'hypothèse que le paysan vend tout.

Les lignes de contraintes d'engrais (en nombre de sacs) sont les suivantes:

$$\begin{aligned} \text{LNPK)} & 3 \text{ COTON} + 2 \text{ MAIS} + 1 \text{ SORGHO} - \text{NPK} < 0 \\ \text{LUREE)} & 1 \text{ COTON} + 2 \text{ MAIS} - \text{UREE} < 0 \end{aligned}$$

Pour analyser la contrainte de surface on ajoute une variable JACHERE qui est le solde du cultivable moins le cultivé:

$$\text{TERRE)} \text{ COTON} + \text{MAIS} + \text{SORGHO} + \text{JACHERE} = 5086$$

Pour analyser les problèmes de main d'oeuvre, on ajoute une variable POP qui représente la population présente dans le village, qu'on multiplie par le nombre de jour de travail par personne pendant la période:

$$\begin{aligned} \text{W1)} & 43 \text{ COTON} + 43 \text{ MAIS} + 32 \text{ SORGHO} - 33.5 \text{ POP} < 0 \\ \text{W2)} & 75 \text{ COTON} + 30 \text{ MAIS} + 20 \text{ SORGHO} - 50 \text{ POP} < 0 \\ \text{POP)} & \text{POP} = 2500 \end{aligned}$$

Dans la ligne du capital on désagrége le capital disponible indiqué dans le modèle précédent (50 millions de FCFA) en 20000 FCFA par personne multiplié par la population (POP). Cette écriture permettra des paramétrages sur la population:

$$\text{CAPITAL)} \quad 40700 \text{ COTON} + 25000 \text{ MAIS} + 6850 \text{ SORGHO} - 20000 \text{ POP} \leq 0$$

3. La solution

Les résultats sont les mêmes que dans le modèle de base mais avec plus d'informations:

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) .12806320E+09

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
VENMAIS	1402953.000000	.000000
VENCOTON	799822.900000	.000000
VENSOR	778943.600000	.000000

Le village vendrait 1402 tonnes de maïs, 799 tonnes de coton et 778 tonnes de sorgho. Selon les cahiers du Groupement le village aurait effectivement vendu 810 tonnes de coton en 1990, ce qui est proche.

NPK	4181.454000	.000000
UREE	2069.472000	.000000

4181 sacs de NPK et 2069 sacs d'urée sont nécessaires.

Le reste ne change pas :

COTON	666.519100	.000000
MAIS	701.476300	.000000
SORGHO	778.943600	.000000
JACHERE	2939.061000	.000000

Le total de 2145 ha cultivés est légèrement plus faible que les chiffres observés à partir de la télédétection. Il est probable que les "inactifs" participent plus aux travaux dans la réalité que dans le modèle.

Les chiffres des assolements concordent. Rappelons, toutefois, que ce résultat a été obtenu avec un chiffre hypothétique qui limite le financement de la campagne (50 millions de FCFA). Nous avons vu précédemment qu'il suffit de le changer d'assez peu pour modifier l'assolement. Nous verrons plus loin que d'autres facteurs interviennent.

Tableau 14: Comparaison des assolements simulés et observés (ha):

	Simulations	Chiffres observés
COTON	666.519100	788.
MAIS	701.476300	639.
SORGHO	778.943600	712.

La suite des sorties du programme donne les éventuels surplus et la valeur marginale des facteurs de production:

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
TER)	.000000	.000000
W1)	.000000	1232.022000
W2)	.000000	13.258400
LNPK)	.000000	5850.000000
LUREE)	.000000	5150.000000
CAPITAL)	.000000	.464482

La valeur marginale des productions signifie simplement qu'une amélioration du rendement de un kilo rapporte en plus le prix unitaire du kilo produit en plus:

LCOT)	.000000	95.000000
LMAIS)	.000000	45.000000
LSOR)	.000000	50.000000

Si on ajoute une personne (LIMPOP) de plus le village gagnerait 51225 FCFA. Ce serait par exemple la valeur d'un ouvrier permanent. Au dessus de ce chiffre l'employeur perdrait de l'argent. En dessous il en gagnerait.

LIMPOP)	.000000	51225.290000
---------	---------	--------------

L'analyse de sensibilité pour les variables

Avec le modèle désagrégé l'analyse de sensibilité devient plus intéressante:

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:

VARIABLE	CURRENT COEF	OBJ COEFFICIENT RANGES	
		ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
VENMAIS	45.000000	.332292	7.063547
VENCOTON	95.000000	63.824530	1.104297
VENSOR	50.000000	7.180264	.992149

Pour la variable VENMAIS le prix actuel est à 45 FCFA. Il y a changement dans la solution uniquement si on augmente le prix de plus de 0,33 FCFA/kg ou si on le diminue de plus de 7 FCFA/kg. Même raisonnement pour les autres ventes. Le modèle est extrêmement sensible aux variations de prix des trois cultures.

Pour les engrais NPK, il faudrait soit annuler le prix des engrais soit l'augmenter de 3811 FCFA pour qu'il y ait changement dans la solution:

VARIABLE	CURRENT COEF	OBJ COEFFICIENT RANGES	
		ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
NPK	-5850.000000	5850.000000	3811.095000
UREE	-5150.000000	443.502700	5732.983000

Pour la variable COTON la charge par hectare en pesticides, en semences a été fixée au départ à 18000 FCFA. Il faudrait augmenter cette charge de 1325 FCFA ou la diminuer de 76589 FCFA pour qu'il y ait changement dans la base de la solution:

VARIABLE	CURRENT COEF	OBJ COEFFICIENT RANGES	
		ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
COTON	-18000.000000	76589.430000	1325.156000
MAIS	-3000.000000	664.583000	14127.090000
SORGHO	-1000.000000	7180.263000	992.149400

Quand à la JACHERE, elle n'a actuellement pas de valeur, mais si on lui donnait une activité (fourragère par exemple) qui rapporte 3874 FCFA/ha, il y aurait un changement dans la base de la solution. De même si on taxait l'existence de jachères à plus de 28068 FCFA/ha il y aurait changement:

VARIABLE	CURRENT COEF	OBJ COEFFICIENT RANGES	
		ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
JACHERE	.000000	3878.402000	28068.300000

Dans la contrainte d'installation W1 il n'y a pas de changement dans la base de la solution tant que le disponible en travail reste dans l'intervalle: main d'oeuvre disponible + 41435 jours et main d'oeuvre disponible - 27843 jours.

L'analyse de sensibilité pour les lignes

ROW	CURRENT RHS	RIGHTHAND SIDE RANGES	
		ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
TER	5086.000000	INFINITY	2939.061000
W1	.000000	41434.580000	27843.610000
W2	.000000	35161.790000	58289.700000

La ligne LIMPOP indique qu'il y aura un changement dans la base quand la population aura augmenté de 3543 personnes.

LIMPOP	2500.000000	3422.385000	2500.000000
--------	-------------	-------------	-------------

Bien entendu si on augmente la population, le revenu et l'assolement vont changer mais il n'y aura pas la disparition ou l'apparition d'une activité ou d'une contrainte.

Pour LCOT, LMAIS ET LSOR on fait la même interprétation mais avec des kilos:

LCOT	.000000	INFINITY	799822.900000
LMAIS	.000000	INFINITY	1402953.000000
LSOR	.000000	INFINITY	778943.600000

Il y a changement si on diminue la production globale de chacune des cultures de la valeur indiquée dans la colonne de droite.

Ici il s'agit de sacs d'engrais. Il y a changement, si on augmente le prix du NPK de 4181 FCFA ou si on augmente l'urée de 2069 FCFA. On peut diminuer leur prix à l'infini sans qu'il y ait substitution:

<i>LNPK</i>	<i>.000000</i>	<i>4181.454000</i>	<i>INFINITY</i>
<i>LUREE</i>	<i>.000000</i>	<i>2069.472000</i>	<i>INFINITY</i>

Pour le capital il s'agit bien sûr de montants en FCFA. Si on augmente les 50 millions de disponible 12 millions ou si les diminuent de 21 millions il y aura un changement dans la solution.

<i>CAPITAL</i>	<i>.000000</i>	<i>12041420.000000</i>	<i>21335230.000000</i>
----------------	----------------	------------------------	------------------------

4. Le paramétrage de la population.

Ayant désagréé la main d'oeuvre disponible et le capital disponible en fonction de la population du village (POP) nous pouvons faire des simulations en fonction de la population. On peut voir ces simulations sous deux angles. Une option synchronique qui dit "Que se passe-t-il dans les villages plus ou moins densément peuplés?" soit une vision diachronique "Que se passe-t-il dans ce village quand la population augmentera? Ou que se passait-il quand la population était plus faible?"

Au préalable il faut faire tourner le modèle avec une seule personne. Nous rappelons qu'une personne dans le modèle correspond à une personne moyenne du village. Comme nous avons compté un actif pour un inactif, cette personne seule se situe à mi-chemin entre un actif et un inactif. Les résultats avec une seule personne n'ont donc pas de portée concrète. Ils permettent de vérifier la cohérence du modèle et de comprendre la suite du paramétrage.

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 51225.290

<i>VARIABLE</i>	<i>VALUE</i>	<i>REDUCED COST</i>
<i>VENMAIS</i>	<i>561.181100</i>	<i>.000000</i>
<i>VENCOTON</i>	<i>319.929200</i>	<i>.000000</i>
<i>VENSOR</i>	<i>311.577500</i>	<i>.000000</i>
<i>COTON</i>	<i>.266608</i>	<i>.000000</i>
<i>NPK</i>	<i>1.672581</i>	<i>.000000</i>
<i>UREE</i>	<i>.827789</i>	<i>.000000</i>
<i>MAIS</i>	<i>.280591</i>	<i>.000000</i>
<i>SORGHO</i>	<i>.311577</i>	<i>.000000</i>
<i>JACHERE</i>	<i>5085.141000</i>	<i>.000000</i>
<i>POP</i>	<i>1.000000</i>	<i>.000000</i>

Une seule personne gagne 51225 FCFA. Elle produit du coton du maïs et du sorgho. Au total elle cultive 85 ares.

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
TER)	.000000	.000000
W1)	.000000	1232.022000
W2)	.000000	13.258400
LCOT)	.000000	95.000000
LMAIS)	.000000	45.000000
LSOR)	.000000	50.000000
LNPK)	.000000	5850.000000
LUREE)	.000000	5150.000000
LIMPOP)	.000000	51225.290000
CAPITAL)	.000000	.464482

Ensuite avec la commande PARA nous avons paramétré la population de 1 personne à 20000:

VAR OUT	VAR IN	PIVOT ROW	RHS VAL	DUAL PRICE BEFORE PIVOT	OBJ VAL
			1.00000	51225.3	51225.3
JACHERE	SLK	4	2	5922.39	.303376E+09
VENSOR	SLK	3	8	6528.30	.332396E+09
SLK	4	SLK	11	2	9779.65
VENMAIS	SLK	4	11	10884.0	.372804E+09
			20000.0	.000000	.372804E+09

A 1 personne seule, une personne en plus rapporte 51225 FCFA.

A la ligne suivante la population a augmenté et donc la jachère disparaît. La contrainte n°4 (temps de récolte) n'est plus limitante. La contrainte de terre est la ligne de PIVOT, qui a donc provoqué cette substitution. Ceci se passe à 5922 habitants. Jusque là la valeur marginale d'une nouvelle personne était de 51225 FCFA. A 5922 habitants le revenu du village est de 303 millions.

A la ligne suivante la production de sorgho disparaît. La contrainte de travail d'installation n'est plus limitante. La contrainte en cause (PIVOT) est la ligne 8 (LNPK).

A la ligne suivante les surplus de la ligne 4 (temps de récolte) sont annulés. Par contre la ligne 8 (Capital) dégage un surplus. Une partie du capital n'est donc plus utilisée. Ceci se passe à 9779 habitants.

A la ligne suivante la production de maïs disparaît. Il se dégage un surplus de main d'oeuvre à la récolte. Il ne reste donc plus que du coton. Ceci se passe à 10884 habitants. A partir de ce chiffre une personne en plus ne rapporte plus rien. Le revenu est à son maximum à 372 millions.

5. Discussion

Le modèle élaboré précédemment a permis d'expliquer les principaux termes de la programmation linéaire, de voir comment lire les résultats qu'on peut en obtenir. On ne voit toutefois pas encore très bien comment interpréter le modèle par rapport à la problématique du départ.

On voit bien qu'il faudrait préciser certaines contraintes et en introduire d'autres. Dans quel ordre faut-il les introduire? Comment ne pas omettre une contrainte essentielle? Comment ne pas alourdir excessivement le modèle? Comment développer un aspect qui nous intéresse par rapport au reste du modèle?

La meilleure méthode, pour bien déterminer les contraintes les plus sévères d'un système agraire, consiste en un va-et-vient entre le terrain et le modèle, jusqu'à l'obtention d'un modèle valide, compréhensible et manipulable.

Selon nos enquêtes, nous avons finalement considéré comme très sévères les contraintes financières telles que la commercialisation et la disponibilité en trésorerie selon les périodes de l'année. C'est elles que nous allons introduire d'abord. Le risque ne nous a pas semblé très important dans cette zone. Nous allons toutefois présenter un exemple avec la méthode Target Motad.

Pour la zone cotonnière Les problèmes d'intensification /extensification, d'intégration de l'élevage, du bois et de l'eau, du transport nous ont semblé faire partie des problèmes du moyen terme. Ils seront abordés dans un deuxième temps.

Troisième partie: LES CONTRAINTES FINANCIERES

La littérature sur les contraintes financières pesant sur les paysans est abondante, notamment concernant la commercialisation, le crédit et la trésorerie. Pour la modélisation de ces aspects nous renvoyons encore à J.M Boussard et Daudin (1988).

Dans cette partie nous abordons les contraintes de trésorerie annuelle. Les problèmes d'investissements sont vus ultérieurement.

I. Commercialisation et autoconsommation

L'économie de la zone reste encore en partie autoconsommatrice à cause de l'étroitesse et du caractère aléatoire des marchés alimentaires. Nous intégrons donc la possibilité de choisir entre l'autoconsommation, la vente et l'achat des céréales.

1. Le modèle

Nous appelons ce modèle "consommation" afin de le retrouver plus loin. On ajoute la possibilité de consommer du maïs ou/et du sorgho dans les lignes des céréales:

$$\begin{aligned} LMAIS) \quad & VENMAIS + CONSMAIS - 2000 MAIS \leq 0 \\ LSOR) \quad & VENSOR + CONSOR - 1000 SORGHO \leq 0 \end{aligned}$$

La ligne de consommation ci-dessous indique que l'auto-consommation des céréales produites et l'achat éventuel de céréales couvrent une consommation moyenne de 260 Kilos par personne (UNRISD 1986):

$$CONS) - ACHACER - CONSMAIS - CONSOR + 260 POP \leq 0$$

L'achat des céréales doit être intégré dans la fonction objectif:

$$MAX \quad 45 VENMAIS + 95 VENCOTON + 50 VENSOR - 18000 COTON - 5850 NPK - 5150 UREE - 3000 MAIS - 1000 SORGHO - 65 ACHACER$$

Comme l'achat des céréales se fait à la soudure c'est-à-dire en début de campagne on l'intègre dans la ligne de trésorerie:

$$CAPITAL) \quad 18000 COTON + 5850 NPK + 5150 UREE + 3000 MAIS + 1000 SORGHO + 65 ACHACER - 20000 POP \leq 0$$

2. La solution

Nous comparons cette solution avec le modèle désagrégé "savane".

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

Le revenu a diminué de 30 millions soit le montant de l'autoconsommation:

$$1) \quad 98813230.$$

La consommation s'est portée sur le maïs comme dans la réalité. Le sorgho serait de 5 FCFA trop cher:

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
CONSMA	650000.000000	.000000
CONSOR	.000000	5.000000

Les céréales à acheter sont beaucoup trop chères:

<i>ACHACER</i>	<i>.000000</i>	<i>50.191310</i>
----------------	----------------	------------------

Les quantités vendues ont diminué:

<i>VENMAIS</i>	<i>752952.700000</i>	<i>.000000</i>
<i>VENSOR</i>	<i>778943.600000</i>	<i>.000000</i>

La quantité de coton commercialisée reste de 799 tonnes:

<i>VENCOTON</i>	<i>799822.900000</i>	<i>.000000</i>
-----------------	----------------------	----------------

L'assolement n'a pas changé:

<i>COTON</i>	<i>666.519100</i>	<i>.000000</i>
<i>MAIS</i>	<i>701.476300</i>	<i>.000000</i>
<i>SORGHO</i>	<i>778.943600</i>	<i>.000000</i>
<i>JACHERE</i>	<i>3043.061000</i>	<i>.000000</i>

3. Les surplus

Il n'y a pas de surplus:

<i>ROW</i>	<i>SLACK OR SURPLUS</i>	<i>DUAL PRICES</i>
<i>MAIS)</i>	<i>.000000</i>	<i>45.000000</i>
<i>SORGHO)</i>	<i>.000000</i>	<i>50.000000</i>
<i>CONSO)</i>	<i>.000000</i>	<i>45.000000</i>

Un personne ou un franc en plus rapportent moins que dans le modèle désagrégé "savane":

<i>LIMPOP)</i>	<i>.000000</i>	<i>39525.290000</i>
<i>CAPITAL)</i>	<i>.000000</i>	<i>.464482</i>

4. L'analyse de sensibilité

Nous montrons l'analyse de sensibilité pour les nouvelles variables et les nouvelles lignes. Pour les autres rien ne change:

<i>VARIABLE</i>	<i>CURRENT</i>	<i>OBJ COEFFICIENT</i>	<i>RANGES</i>
	<i>COEF</i>	<i>ALLOWABLE</i>	<i>ALLOWABLE</i>
		<i>INCREASE</i>	<i>DECREASE</i>
<i>ACHACER</i>	<i>-65.000000</i>	<i>50.191310</i>	<i>INFINITY</i>
<i>CONSMA</i>	<i>.000000</i>	<i>45.000000</i>	<i>5.000000</i>
<i>CONSOR</i>	<i>.000000</i>	<i>5.000000</i>	<i>INFINITY</i>

5. Le paramétrage de la population

Par rapport au paramétrage du modèle désagrégé "savane" (voir ci-dessous) la vente de maïs disparaît plus tôt, vu qu'une partie est consommée. D'autre part au delà de 6661 habitants une personne en plus coûte de l'argent, vu qu'elle consomme sans travailler, ce qu'elle ne faisait pas dans le modèle désagrégé:

<i>VAR</i>	<i>VAR</i>	<i>PIVOT</i>	<i>RHS</i>	<i>DUAL PRICE</i>	<i>OBJ</i>
<i>OUT</i>	<i>IN</i>	<i>ROW</i>	<i>VAL</i>	<i>BEFORE PIVOT</i>	<i>VAL</i>
			<i>1.00000</i>	<i>39525.3</i>	<i>39525.3</i>
<i>JACHERE</i>	<i>SLK</i>	<i>4</i>	<i>2</i>	<i>6043.49</i>	<i>39525.3</i>
<i>VENSOR</i>	<i>SLK</i>	<i>3</i>	<i>12</i>	<i>6661.79</i>	<i>36194.6</i>
<i>VENMAIS</i>	<i>SLK</i>	<i>12</i>	<i>3</i>	<i>9583.64</i>	<i>-1126.75</i>
			<i>20000.0</i>	<i>-12779.0</i>	

Rappel du paramétrage du modèle désagréé "savane":

VAR OUT	VAR IN	PIVOT ROW	RHS VAL	DUAL PRICE BEFORE PIVOT	OBJ VAL
			1.00000	51225.3	51225.3
JACHERE	SLK	4	2	6043.49	51225.3
VENSOR	SLK	3	8	6661.79	47894.6
SLK	4	SLK	11	2	9979.63
VENMAIS	SLK	4	11	11106.6	5460.53
			20000.0	.000000	.380427E+09

NB: Dans le même ordre d'idée, il est possible d'imposer au modèle des quotas de production tels que ceux imposés par la Société cotonnière pour le coton ou par l'étroitesse du marché pour les céréales:

LIMCER) $VENMAIS + VENSOR \leq 2000000$

LIMCOT) $VENCOTON \leq 1500000$

Cette quantité peut être liée à la population du village:

LIMVENT) $VENSOR + VENMAIS - 800 POP < 0$

On peut éventuellement imposer des contraintes alimentaires. Par exemple pour imposer une consommation minimum de sorgho:

LIMCONS) $60 POP - CONSOR \leq 0$

Nous n'intégrerons pas ces contraintes dans la suite du travail car elles ne sont pas présentes dans cette zone.

6. Discussion

Il faut intégrer la consommation de céréales et non pas l'autoconsommation comme contrainte du modèle. En effet les paysans peuvent très bien vendre certaines céréales et en racheter d'autres en fonction des contraintes de trésorerie.

Dans le modèle trimestriel nous intégrerons l'évolution des prix au cours de l'année pour simuler les comportements de spéculation, d'épargne, d'emprunt et d'autofinancement.

II. Le financement de la campagne

Ici nous allons approfondir le cas du financement de la campagne agricole.

1. Le modèle

Ce financement est couvert par le crédit à court terme (CCT) et l'autofinancement (AUTOFI) en début de campagne:

CAPITAL) $18000 COTON + 5850 NPK + 5150 UREE + 3000 MAIS + 1000 SORGHO + 65 ACHACER - CCT - AUTOFI \leq 0$

La société cotonnière récupère l'argent des crédits sur le coton livré. Le montant du remboursement du crédit plus les intérêts ($3\% = 6\% - 3\%$ d'inflation) doit donc être couvert par la vente du coton:

LIMCRED) $- 95 VENCOTON + 1.03 CCT + SOLDCOT = 0$

Il restera éventuellement un solde de trésorerie SOLDCOT.

La capacité d'autofinancement des intrants AUTOFI en début de campagne dépend du solde de trésorerie au mois de mai, c'est-à-dire des ventes de la campagne précédente (vente des céréales plus le solde monétaire du coton donné par la société cotonnière après avoir récupéré les emprunts), des stocks de céréales existants à ce moment là, moins les dépenses agricoles familiales réalisées jusque là.

Les enquêtes de Guy Faure (1991) montrent que les dépenses agricoles (essentiellement en début de campagne) avoisinaient en 1990 31000 FCFA par personne. Le solde de trésorerie inutilisé avoisinait 23000 FCFA. Nous prenons un besoin monétaire de 30000 FCFA par personne jusqu'aux premières ventes. On obtient une capacité d'autofinancement de $31000 + 23000 - 30000 = 24000$ FCFA/personne.

$$AUTOFI) \quad AUTOFI - 24000 POP \leq 0$$

Cependant au lieu d'utiliser cette liquidité pour autofinancer la campagne le paysan peut la placer ailleurs, à la banque ou dans l'élevage par exemple. Dans le modèle plutôt que d'introduire ces nouvelles activités dans la fonction objectif on peut appliquer un coût (d'opportunité) à l'autofinancement. Ici nous prenons un taux de 4 % c'est-à-dire le taux d'épargne bancaire (7 %) moins l'inflation (3%). Dans la fonction objectif on ajoute le coût du crédit et de l'autofinancement:

$$MAX \quad 45 \text{ VENMAIS} + 95 \text{ VENCOTON} + 50 \text{ VENSOR} - 18000 \text{ COTON} - 5850 \text{ NPK} - 5150 \text{ UREE} - 3000 \text{ MAIS} - 1000 \text{ SORGHO} - 65 \text{ ACHACER} - \underline{0.03 \text{ CCT} - 0.04 \text{ AUTOFI}}$$

2. La solution

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

Le revenu n'a augmenté que de 3 millions par rapport au précédent qui ne tenait pas compte du crédit:

$$1) \quad .10254500E+09$$

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
----------	-------	--------------

Le crédit s'élève à 62 millions:

$$CCT \quad 62041420.000000 \quad .000000$$

L'autofinancement d'un FCFA ferait perdre 0,01 FCFA soit en fait les 1 % de différence entre le coût d'opportunité de l'autofinancement et le coût du crédit:

$$AUTOFI \quad .000000 \quad .010000$$

Le solde de la vente du coton moins le remboursement atteint 33 millions:

$$SOLDCOT \quad 33030470.000000 \quad .000000$$

Le crédit a permis l'achat d'intrants. Le maïs remplace le sorgho, mais la surface totale a diminué de 200 ha:

COTON	850.290700	.000000
MAIS	1097.384000	.000000
SORGHO	.000000	.000000
JACHERE	3242.326000	.000000

La vente "forcé" d'un kilo de sorgho ferait perdre 6,71 FCFA:

$$VENSOR \quad .000000 \quad 6.716503$$

L'achat "forcé" de céréales ferait perdre 21,95 FCFA:

ACHACER .000000 21.950000

La production et la consommation d'un kilo de sorgho feraient perdre 11,71 FCFA:

CONSOR .000000 11.716500

3. Les surplus

ROW SLACK OR SURPLUS DUAL PRICES

Dans la ligne limitant le capital tout est utilisé. Un franc de subvention en plus rapporterait 0,03 FCFA:

CAPITAL) .000000 .030000

Dans la ligne limitant le crédit un franc de plus ou de moins ne change rien dans la fonction objectif:

LIMCRED) .000000 .000000

La capacité d'autofinancement (135 millions) n'est pas utilisée, puisque la pratique de l'épargne des recettes et l'emprunt pour les intrants sont plus intéressants.

AUTOFI) 135000000 .000000

4. L'analyse de sensibilité

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:

<i>VARIABLE</i>	<i>CURRENT COEF</i>	<i>OBJ COEFFICIENT RANGES ALLOWABLE INCREASE</i>	<i>ALLOWABLE DECREASE</i>
-----------------	-------------------------	--	-------------------------------

Le crédit est actuellement à 3 % . Une annulation de son taux provoquerait une substitution dans la solution. De même un taux de $3 + 1 = 4\%$ changerait la base de la solution:

CCT -.030000 .030000 .010000

L'autofinancement est intéressant si son coût d'opportunité diminuait de 1% On peut l'augmenter à l'infini sans qu'il y ait changement:

AUTOFI -.040000 .010000 INFINITY

5. Le paramétrage de la population

VAR OUT	VAR IN	PIVOT ROW	RHS VAL	DUAL PRICE BEFORE PIVOT	OBJ VAL
			1.00000	41018.0	41018.0
JACHERE	SLK	3	2	6661.79	41018.0
VENMAIS	SLK	4	4	9274.05	-6549.34
SLK	14	AUTOFI	3	9918.14	-12717.8
CCT	ART	12	10069.8	-25290.4	
			20000.0	-INFINITY	INFEASIBLE

La vente de maïs disparaît à 9274 habitants. Un peu plus tard l'autofinancement devient nécessaire à cause de la contrainte 3 (temps de récolte) et la ligne 14 (ligne autofinancement) est utilisée. A 10069 habitants le crédit n'est plus possible et le système devient infaisable.

6. Discussion

Nous avons vu l'importance de l'introduction du crédit dans un système souvent contraint par le manque d'argent en début de campagne. Mais comme pour le système de culture il faut voir les alternatives existantes dans l'environnement de l'agriculteur. La modélisation est alors un outil pertinent quand on veut clarifier les relations entre la consommation, l'épargne, l'emprunt et l'autofinancement.

III. Les activités extra-agricoles

Les activités extra agricoles (migration, artisanat, commerce, épargne ...) peuvent entrer en concurrence avec les activités agricoles.

On ajoute dans la fonction objectif un salaire annuel moyen de 100000 FCFA/migrant (MIGRANT). Cette activité consomme le maximum de temps de main d'oeuvre pendant les différentes périodes: 40 jours dans W1 et 60 jours dans W2 puisque la personne est absente:

$$W1) 43 \text{ MAIS} + 26 \text{ SORGH} + 40 \text{ MIGRANT} + 43 \text{ COTON} - 40 \text{ POP} \leq 0$$

$$W2) 30 \text{ MAIS} + 20 \text{ SORGH} + 60 \text{ MIGRANT} + 75 \text{ COTON} - 60 \text{ POP} \leq 0$$

La limite du nombre de migrants est liée au nombre de jeunes de sexe masculin actifs soit un villageois sur huit:

$$\text{LIMIGRAN}) \quad 8 \text{ MIGRANT} - \text{POP} \leq 0$$

Le lecteur peut poursuivre lui-même cet exercice.

IV. Le risque

Les paysans craignent les activités risquées c'est-à-dire à forte variabilité. Par exemple le maïs, qui a des marges plus irrégulières que le coton ou le sorgho, est généralement pénalisé.

Nous renvoyons à J.M. Boussard et Daudin (1988) pour l'approfondissement théorique de la question du risque dans les modèles de programmation linéaire.

Ici nous avons sélectionné la méthode Target Motad (L.W. Tauer 1983). Elle consiste à simuler dans un modèle, un système qui ne peut descendre sous un revenu jugé minimum, même les mauvaises années. Le principe est d'introduire dans le modèle des lignes représentant chacune une année différente du point de vue des marges par activité. Le mieux est d'utiliser des marges historiques actualisées ou les propres estimations des paysans. Si on dispose des coefficients d'élasticités prix/rendements, on peut estimer les marges à partir de la variabilité des rendements. Pour obtenir la variabilité des rendements on peut utiliser des modèles biophysiques tels que EPIC (Erosion Productivity Impact Calculator) (Williams et al. 1987).

1. Le modèle

Dans notre cas nous avons simplement estimé des marges en nous inspirant des données historiques. Par simplification les marges par activité sont exprimées en milliers de FCFA. Prenons 10 années:

- 26) 52 MAIS + 34 SORGHO - 0.00003 CCT + 80 COTON - 50 POP
+ PERTE1 >= 0
- 27) 73 MAIS + 45 SORGHO - 0.00003 CCT + 65 COTON - 50 POP
+ PERTE2 >= 0
- 28) 69 MAIS + 31 SORGHO - 0.00003 CCT + 58 COTON - 50 POP
+ PERTE3 >= 0
- 29) 120 MAIS + 49 SORGHO - 0.00003 CCT + 64 COTON - 50 POP
+ PERTE4 >= 0
- 30) 65 MAIS + 27 SORGHO - 0.00003 CCT + 65 COTON - 50 POP
+ PERTE5 >= 0
- 31) 89 MAIS + 44 SORGHO - 0.00003 CCT + 74 COTON - 50 POP
+ PERTE6 >= 0
- 32) 55 MAIS + 32 SORGHO - 0.00003 CCT + 80 COTON - 50 POP
+ PERTE7 >= 0
- 33) 45 MAIS + 25 SORGHO - 0.00003 CCT + 74 COTON - 50 POP
+ PERTE8 >= 0
- 34) 100 MAIS + 54 SORGHO - 0.00003 CCT + 64 COTON - 50 POP
+ PERTE9 >= 0
- 35) 40 MAIS + 40 SORGHO - 0.00003 CCT + 55 COTON - 50 POP
+ PERT10 >= 0

Prenons la 26ème ligne du modèle:

- 26) 52 MAIS + 34 SORGHO + 80 COTON - 0.00003 CCT - 50 POP
+ PERTE1 >= 0

La somme des marges/ha multipliées par les activités (ha) moins 3% (taux d'intérêt réel) * par le montant du crédit CCT en FCFA), moins un revenu jugé minimum (50000 FCFA/personne), c'est-à-dire un revenu sous lequel les paysans ne voudraient pas descendre, doit être supérieur à 0.

En clair, le revenu du village ne devrait pas descendre sous un revenu minimum. S'il le fait la variable PERTE1 prend la valeur de ce déficit. On ajoute une ligne qui mentionne que la somme des pertes permises ne doit pas dépasser une certaine valeur. En faisant varier ce montant on peut faire varier l'aversion que le village éprouve envers le risque:

$$PERTE) \quad 0.1 PERTE1 + 0.1 PERTE2 + 0.1 PERTE3 + 0.1 PERTE4 + 0.1 PERTE5 + 0.1 PERTE6 + 0.1 PERTE7 + 0.1 PERTE8 + 0.1 PERTE9 + 0.1 PERT10 <= 10000$$

2. Le paramétrage du risque

Nous ne montrons pas la solution car avec un coefficient de 10000 rien ne change par rapport au modèle sans risque. Nous avons alors paramétré ce coefficient de 10 millions (10000 dans le modèle) à 0:

VAR OUT	VAR IN	PIVOT ROW	RHS VAL	DUAL PRICE BEFORE PIVOT	OBJ VAL
			10000.0	.000000	.102545E+09
SLK 22	AUTOFI	22	5461.87	.000000	.102545E+09
PERTE5	SLK 19	20	5330.67	666.667	.102458E+09
PERTE1	SLK 15	19	4726.02	833.333	.101954E+09
PERTE3	SLK 17	15	4710.76	1111.11	.101937E+09
CCT	ART	3	4703.49	1666.67	.101925E+09
			.000000	+INFINITY	INFEASIBLE

Quand ce coefficient diminue, la peur du risque augmente. D'abord l'autofinancement devient nécessaire. Au fur et à mesure qu'on limite les risques des variables PERTE prennent des valeurs. Quand le crédit disparaît la solution n'est plus faisable. Si le village craignait des risques important il limiterait donc les emprunts.

3. Discussion

Du fait des bonnes conditions écologiques d'une forte caution solidaire entre les villageois il semble bien que le risque soit relativement faible. Par contre si on introduisait l'élevage avec les risques de mortalité et de vol les changements de solutions seraient plus importants.

Il serait bon ici de remplacer dans le modèle la variabilité des marges possibles au niveau du village par la variabilité des marges possible au niveau d'une exploitation. On verrait alors la solution avec l'hypothèse qu'il n'y a pas de caution solidaire entre exploitants. Dans ce cas le risque aurait un impact beaucoup plus grand.

Quatrième partie: LA COMPARAISON D'ITINERAIRES TECHNIQUES

La programmation linéaire est particulièrement intéressante pour comparer des niveaux d'intensification. Par exemple des cultures à forte fumure minérale, avec des cultures à faible fumure ou/et des cultures avec fumier ou sans fumier. Dans cet exemple nous avons comparé l'itinéraire actuel (N°1) avec un itinéraire plus extensif en travail et en intrants (N°2) sur chaque culture.

Cultures	Coton1	Coton2	Maïs1	Maïs2	Sorgho1	Sorgh2
Rendement kg/ha	1200	1000	2000	1500	1000	800
NPK sac	3	1	2	1	1	0
UREE sac	1	1	2	1	0	0
CAPITAL FCFA	40700	29000	25000	18000	6850	1000
Instal. j/ha	43	35	43	35	32	30
Récolte j/ha	107	75	31	21	41	33

I. Le modèle

Les rendements s'ajoutent aux lignes existantes:

$$LCOTON) \text{ VENCOTON} - 1200 \text{ COTON1} - 1000 \text{ COTON2} \leq 0$$

$$LMAIS) \text{ VENMAIS} + \text{CONSMA} - 2000 \text{ MAIS1} - 1500 \text{ MAIS2} \leq 0$$

$$LSOR) \text{ VENSOR} + \text{CONSOR} - 1000 \text{ SORGH01} - 800 \text{ SORGH02} \leq 0$$

Dans la ligne W1 et W2 on ajoute les temps de travaux du deuxième itinéraire:

$$W1) 43 \text{ COTON1} + 35 \text{ COTON2} + 43 \text{ MAIS1} + 35 \text{ MAIS2}$$

$$+ 38 \text{ SORGH01} + 30 \text{ SORGH02} - 33.5 \text{ POP} \leq 0$$

$$W2) 107 \text{ COTON1} + 75 \text{ COTON2} + 31 \text{ MAIS1} + 21 \text{ MAIS2}$$

$$+ 41 \text{ SORGH01} + 33 \text{ SORGH02} - 50 \text{ POP} \leq 0$$

Dans le capital nécessaire en début de campagne on ajoute les coûts du deuxième itinéraire:

$$\begin{aligned} \text{CAPITAL)} \quad & 40700 \text{ COTON1} + 29000 \text{ COTON2} + 29000 \text{ MAIS1} \\ & + 18000 \text{ MAIS2} + 6850 \text{ SORGH01} + 1000 \text{ SORGH02} - 20000 \text{ POP} \\ & \leq 0 \end{aligned}$$

Dans les lignes des besoins en engrais on ajoute le nouvel itinéraire:

$$\text{NPK)} 3 \text{ COTON1} + \text{COTON2} + 2 \text{ MAIS1} + \text{MAIS2} + \text{SORGH01} - \text{NPK} = 0$$

$$\text{UREE)} \text{ COTON1} + \text{COTON2} + 2 \text{ MAIS1} + \text{MAIS2} - \text{UREE} = 0$$

Au lieu de différencier les activités dans tout le modèle nous laissons l'activité culturale sans numéro qui correspond à la somme des deux autres activités:

$$\text{COTDIF)} \text{ COTON} - \text{COTON1} - \text{COTON2} = 0$$

$$\text{MAISDIF)} \text{ MAIS} - \text{MAIS1} - \text{MAIS2} = 0$$

$$\text{SORDIF)} \text{ SORGH0} - \text{SORGH01} - \text{SORGH02} = 0$$

Ainsi dans la fonction objectif rien ne change:

MAX 45 VENMAIS + 95 VENCOTON + 50 VENSOR - 18000 COTON
- 5850 NPK - 5150 UREE - 3000 MAIS - 1000 SORGHO
SUBJECT TO

Il en est de même dans la ligne de la terre:

TER) COTON + MAIS + SORGHO - JACHERE < = 5086

Ainsi que dans la ligne des consommations:

LCONSO) 260 POP - CONSMA - CONSOR - ACHACER < = 0

II. La solution

Le revenu a augmenté de 10 millions par rapport au modèle désagrégé:

1) .13861140E+09

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
Le coton domine largement l'assolement:		
COTON	1306.166000	.000000
MAIS	845.717800	.000000
SORGHO	281.135500	.000000

Les itinéraires extensifs dominant:

COTON1	.000000	12943.840000
COTON2	1306.166000	.000000
MAIS1	.000000	73.019530
MAIS2	845.717800	.000000
SORGHO1	.000000	8954.094000
SORGHO2	281.135500	.000000

Les ventes correspondantes:

VENMAIS	1184005.000000	.000000
VENCOTON	1306166.000000	.000000
VENSOR	224908.400000	.000000

III. Les surplus

Les surplus:

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
TER)	.000000	.000000
LCOTON)	.000000	95.000000
LMAIS)	.000000	45.000000
LSOR)	.000000	50.000000

Il n'y a pas de surplus de travail:

W1)	.000000	1092.308000
W2)	.000000	173.382200

Un franc d'investissement en plus rapporterait 0,50 FCFA:

CAPITAL)	.000000	.509158
----------	---------	---------

Une personne en plus rapporterait 55444 FCFA dans la fonction objectif:

LIMPOP) .000000 55444.570000

Nous ne faisons pas l'analyse de sensibilité.

IV. Le paramétrage de la population

VAR OUT	VAR IN	PIVOT ROW	RHS VAL	DUAL PRICE BEFORE PIVOT	OBJ VAL
			1.00000	55444.6	55444.6
JACHERE	MAIS1	2	5332.88	55444.6	.295679E+09
MAIS2	SLK 7	8	5570.45	55023.4	.308751E+09
VENSOR	SORGH01	5	6566.94	29098.4	.337747E+09
SORGH02	COTON1	6	6566.94	21166.8	.337747E+09
COTON2	SLK 6	7	6661.79	15240.8	.339193E+09
SLK 7	SLK 8	8	9979.63	10573.2	.374273E+09
VENMAIS	SLK 7	4	11106.6	5460.53	.380427E+09
			20000.0	-.151742E-09	.380427E+09

Quand la population augmente le système reste extensif jusqu'à la disparition des jachères. A ce moment les itinéraires intensifs commencent à remplacer les cultures extensives. D'autre part la vente du sorgho puis celle du maïs disparaissent, par contre leur culture pour l'autoconsommation demeure. Alors que le revenu marginal d'une personne est au minimum, le revenu global du village est au maximum.

V. Discussion

Ce modèle montre l'intérêt économique d'une culture plus extensive quand le foncier n'est pas saturé. En effet le revenu marginal d'une personne ainsi que le revenu par personne est supérieur en agriculture extensive. La croissance démographique dans un espace limité libère une certaine quantité de main d'oeuvre. Elle peut alors suivre des itinéraires plus intensifs en travail. Mais le revenu par personne est alors plus faible. Pour approfondir ce sujet il faudrait encore introduire un itinéraire plus intensif (l'itinéraire recommandé par les organismes de développement par exemple).

Ce petit modèle montre que dans ce type de système agraire avec une densité de 50 habitants par kilomètre carré cultivable (ou 33 habitants par km²) le revenu global n'est pas contraint par la surface cultivable. Ce qui limite la surface cultivée (donc le revenu global) c'est d'abord le travail à l'installation. Son coût marginal est élevé, ce qui devrait favoriser l'embauche de salariés. Mais à cette période de l'année il y a très peu de salariés disponibles. Les paysans se tournent alors vers la mécanisation. Celle-ci limite les temps de sarclage. La surface cultivée augmente. C'est alors la contrainte de travail à la récolte qui va s'alourdir. L'augmentation du coût marginal du travail à la récolte favorisera l'embauche de salariés venus des régions qui ne font pas de coton.

Dans ce contexte on pourrait penser que la surface du sorgho diminuera vu sa forte consommation en temps de battage à la récolte. Le modèle montre cependant que le sorgho peut persister si les deux autres cultures restent limitées par le capital disponible en début de campagne. L'extension du crédit de campagne devrait desserrer cette contrainte.

Le paramétrage laisse supposer que toutes choses égales par ailleurs, ce type de système peut perdurer encore longtemps sur ce rythme, avec une substitution progressive du maïs au sorgho.

Il laisse également supposer que toute personne en plus rapportera de l'argent pendant assez longtemps.

Cinquième partie: L'ELEVAGE.

Nous reprenons le modèle désagrégé "savane" en ajoutant juste la consommation. Nous appellerons ce modèle "savane2". Il faut donc comparer les résultats avec le modèle avec consommation de céréales par la population.

Nous allons intégrer dans le modèle les boeufs de trait (BOEUF) présents toutes l'année, et un troupeau transhumant (UBT) présent en période sèche et chaude. De la même manière il est possible de distinguer vaches, asins, ovins, caprins, porcins mais dans notre zone ces élevages sont marginaux.

I Le modèle de base

1. Les boeufs de trait

Les boeufs de trait doivent couvrir les besoins en traction estimés à 8 ha par attelage (M.Berger 1990) soit 0.125 attelage par hectare. Dans un attelage nous comptons 2 boeufs (soit 0,5 Boeufs/attelage):

$$LIMTRAC) 0.125 COTON + 0.125 MAIS - 0.5 BOEUF < = 0$$

Nous écartons le sorgho qui peut aussi être cultivé à la main.

Dans la fonction objectif nous déduisons 2000 FCFA de frais vétérinaires par boeuf et par an.

2. Le troupeau extensif

Les interactions de ce troupeau extensif avec le système sont la consommation de fourrage et la production de poudrette (bouse de vache). Il ne participe pas aux flux financiers du système agraire car il se trouve généralement géré par des nomades peu contraints du point de vue financier. Par contre il participe à la fonction objectif pour le temps où il séjourne sur le territoire du village, soit 6 mois.

Dans la fonction objectif nous comptons 500 FCFA de frais vétérinaires par UBT du troupeau extensif (ZEBU).

3. La production de viande

Nous créons une activité production de viande (VIANDE) à 300 FCFA/kg (TYC 1989) intégrée dans la fonction objectif.

La production pondérale serait de 46 kg par UBT (source IEMVT) et sa production numérique de 13,3 % soit un gain global annuel du troupeau d'environ 50 kg/UBT. Présents moins de 6 mois dans le territoire du village nous estimons la production permise par le territoire du village à 20 kilos.

Pour les boeufs de trait le gain pondéral annuel dépasse rarement 20 kg et se rapprocherait plutôt de 15 kg. Les pertes et vols sont compris 4 à 6 % (TYC 1988).

$$PROVLAND) VIANDE - 20 UBT - 15 BOEUF < = 0$$

Nous n'avons pas pris en compte le lait, considéré comme une cession interne au village et de toute façon négligeable.

4. Le gardiennage

Les boeufs de trait sont conduits ou gardés par les enfants d'une dizaine d'année généralement considérés comme inactifs. Si à l'installation des cultures et à la récolte on affecte un enfant pour deux boeufs, le nombre de boeufs est limité par le nombre d'inactifs qui peuvent conduire des animaux, qu'on estime au quart de la population.

$$GARDE1) 4 BOEUF - POP \leq 0$$

Dans la période chaude et sèche (W3) les boeufs sont rassemblés et gérés par les nomades ou par des actifs du village. On compte une personne pour 40 animaux. Un BOEUF nécessite donc $1/40$ ème de personne (POP) par jour pendant la période W3 qui est de 90 jours. $90 * 1/40 = 2,2$ jours.

A cette période le gardiennage entre en concurrence avec l'arrachage des pieds de coton. Le surplus de main d'oeuvre (SUP3) peut garder les animaux, mais les journées "gardiennage" (GARDE2) par les Peuls ne peuvent servir à arracher les pieds de coton:

$$W3) 10 COTON - 50 POP + SUP3 = 0$$

$$GARDE2) 2.2 BOEUF - JPEUL - SUP3 \leq 0$$

Pour les Peuls nous prenons la norme d'une rémunération de 3000 F par boeuf pendant 6 mois soit toute la saison sèche et chaude. Soit encore 17 FCFA par journée de gardiennage. On ajoute cette charge dans la fonction objectif.

$$- 17 JPEUL$$

5. Le bilan fourrager

Ajoutons les surfaces non cultivables du village mais utilisables en parcours (Berger 1988):

$$LIMPARC) PARCOURS = 2484 \text{ ha}$$

Distinguons la saison d'installation des cultures 3 mois (Mai-Juillet), la saison où les fourrages abondent 5 mois (Août-Décembre) et la saison sèche 4 mois (Janvier à Avril).

La production de fourrages:

Saisons	Mai-juillet	Août-décembre	Janv-Avril
Jachères kg	300	1800	100
Parcours kg	200	1000	50
UF/kg de ms	0,4	0,3	0,3
Jachères UF	120 kg	540	30
Parcours UF	80	300	15

Calculé d'après les normes de Badini, Breman, Granier, Menaut (1976) et Achard (1987).

Les besoins des animaux en UF/UBT:

Saisons	Mai-juillet	Août-décembre	Janv-Avril
- boeufs	545	600	480
- Tr extensif	360	600	480

Calculé d'après les normes du mémento de l'agronome (1991).

Dans le modèle les normes sont introduites en UF. Les boeufs (BOEUF) et le troupeau extensif (ZEBU) sont des Unités de Bétail Tropical (UBT).

Pour la première période (les pluies) les zébus sont partis car la zone est trop parasitée.

$$LIMFOUR1) 545 BOEUF - 120 JACHERE - 80 PARCOURS + FOUR1 = 0$$

Pour la deuxième période, on ajouté la moitié du surplus de la période 1 (perte en UF) et les résidus des cultures:

$$LIMFOUR2) 600 BOEUF + 600 ZEBU - 500 JACHERE - 300 PARCOURS - 0.5 FOUR1 - RESIDUS + 0.5 FOUR2 = 0$$

Ces résidus sont définis en UF dans la ligne:

$$LIMRESI) RESIDUS - 400 MAIS - 600 SORGHO + 0.25 PAILLE = 0$$

0.25 PAILLE convertie l'UF de paille en kg, au coefficient de 0.25 UF/kg.

La dernière période profite de la moitié du surplus de la période 2, des repousses des jachères et des parcours:

$$LIMFOUR3) 480 ZEBU + 480 BOEUF - 30 JACHERE - 15 PARCOURS - 0.5 FOUR2 \leq 0$$

6. La solution

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

Le revenu a augmenté de 12 millions:

$$1) .11025880E+09$$

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
----------	-------	--------------

273 boeufs suffisent pour la traction de la culture du maïs et du coton. L'équivalent de 1956 UBT séjourne en saison sèche dans le territoire:

BOEUF	273.599100	.000000
ZEBU	1956.644000	.000000

On ne confie pas encore les boeufs:

JPEUL	.000000	17.000000
-------	---------	-----------

Les boeufs et les zébus produisent 43 tonnes de viande:

VIANDE	43236.860000	.000000
--------	--------------	---------

L'assolement ne bouge pas:

COTON	666.519100	.000000
MAIS	701.476300	.000000
SORGHO	778.943600	.000000

L'utilisation des céréales ne change pas:

VENMAIS	752952.700000	.000000
VENCOTON	799822.900000	.000000
VENSOR	778943.600000	.000000
CONSMAIS	650000.000000	.000000
CONSOR	.000000	5.000000

On a 5500 ha de pâtures pour 1251 UBT présents, ce qui fait une charge de 1 UBT pour 4 ha de pâture ou un UBT pour 5 ha avec les cultures comprises:

JACHERE	3043.061000	.000000
PARCOURS	2484.000000	.000000

On obtient un surplus de fourrage en première et en deuxième période, surplus dont la moitié se reporte sur les périodes suivantes:

FOUR1	414775.800000	.000000
FOUR2	1883929.000000	.000000

Les résidus de cultures en kilos:

RESIDUS	747956.700000	.000000
---------	---------------	---------

7. Les surplus

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
-----	------------------	-------------

La terre est devenue limitante, puisque la jachère a maintenant une valorisation de 2185 FCFA/ha:

TER)	.000000	2185.897000
------	---------	-------------

La traction est entièrement utilisée. Un boeuf en plus rapporterait 7921 FCFA:

LIMTRAC)	.000000	7921.474000
----------	---------	-------------

Un kilo de viande rapporte 300 FCFA:

PROVIAND)	.000000	300.000000
-----------	---------	------------

Le gardiennage n'est pas limitant:

GARDE1)	1952.802000	.000000
GARDE2)	117732.900000	.000000

Un hectare de parcours en plus rapporte 1304 FCFA/ha:

LIMPARC)	.000000	1304.487000
----------	---------	-------------

Dans la première période une UF en plus rapporterait 1,76 FCFA et dans la deuxième période 3,52 FCFA et 7,05 FCFA dans la troisième. C'est donc la troisième période qui est la plus limitante. Pendant cette période un aliment pour bétail pourrait être intéressant à moins de 7FCFA/UF:

LIMFOUR1)	.000000	1.762820
LIMFOUR2)	.000000	3.525641
LIMFOUR3)	.000000	7.051282

Les résidus de cultures prennent la valeur des fourrages de la deuxième période fourragère:

LIMRESI)	.000000	3.525641
----------	---------	----------

8. Le paramétrage de la population

VAR OUT	VAR IN	PIVOT ROW	RHS VAL	DUAL PRICE BEFORE PIVOT	OBJ VAL
			1.00000	38269.4	.146234E+08
FOUR1	SLK	5	17	5049.37	.207822E+09
JACHERE	SLK	3	2	5556.25	.217812E+09
VENMAIS	SLK	4	5	5563.06	.217764E+09
VENCOTON	CONSOR		6	14024.0	.111192E+09
			20000.0	-.261394E-16	.335043E+08

A 5049 habitants, la variable surplus de fourrage (FOUR1) disparaît et en même temps la contrainte de capital n'est plus limitante.

Au fur et à mesure de la croissance de la population le cultivé s'étend au détriment des jachères. Le fourrage devient limitant (Il faudrait introduire la possibilité d'acheter des concentrés mais nous avons vu la valeur duale de l'UF est un peu faible 7 FCFA/UF au maximum).

A 5556 habitants la jachère disparaît et la contrainte de travail d'installation n'est plus limitante. Tout le cultivable est cultivé. Il apparaît un surplus de main d'oeuvre.

Un peu plus tard c'est la vente de maïs qui disparaît et la contrainte de récolte n'est plus limitante. La population augmente, il faut la nourrir d'abord. On ne vend donc plus de maïs.

A 14024 habitants la vente de coton, disparaît. Le sorgho est maintenant autoconsommé.

9. Discussion

En lançant les simulations aux différentes valeurs de la population où il y a des substitutions d'activités ou de contraintes, on peut suivre l'évolution de l'assolement et des effectifs bovins en fonction de la croissance démographique.

On constate que les boeufs suivent l'évolution des cultures cotonnières et maïsicoles. Les zébus sont au maximum quand la densité humaine est la plus faible, puis ils se réduisent progressivement faute de fourrages. Les jachères reculent au profit des cultures. Les céréales dont les résidus servent de fourrages régressent également au profit du coton. Enfin les fourrages sont utilisés en priorité pour l'élevage des boeufs de trait. Si on en donne pas la possibilité d'acheter des céréales à l'extérieur le coton disparaît au profit des cultures céréalières.

Jusqu'ici nous n'avons intégré que la fonction de traction et de production de viande. Pour la traction il faudrait en fait mieux introduire l'alternative manuelle pour mesurer l'intérêt réel de la traction. Par contre s'il ne s'agit que de la production de viande l'intérêt semble relativement faible par rapport à l'agriculture.

II Les cultures fourragères

La Recherche propose le stylosanthès (STYLO) entouré de barbelés (100000 FCFA/ha amortis sur 20 ans soit 5000 FCFA/ha/an) afin de conserver du fourrage sur pied pour la période de soudure. On ajoute - 5000 STYLO dans la fonction objectif.

Dans la ligne de contrainte fourragère à la soudure, on ajoute l'activité STYLO:

$$\text{LIMFOUR3) - 2500 STYLO - 30 JACHERE} + 480 \text{ BOEUF} + 480 \text{ ZEBU} - 15 \\ \text{PARCOURS - 0.5 FOUR2} \leq 0$$

On rajoute STYLO dans la ligne contraignant les surfaces:

$$\text{TER) COTON} + \text{MAIS} + \text{SORGHO} + \text{STYLO} + \text{JACHERE} = 5190$$

Des contraintes légères en travail:

$$\begin{aligned} \text{W1) } 43 \text{ COTON} + 43 \text{ MAIS} + 32 \text{ SORGHO} + \text{STYLO} - 33.5 \text{ POP} &\leq 0 \\ \text{W2) } 107 \text{ COTON} + 31 \text{ MAIS} + 41 \text{ SORGHO} + 1.5 \text{ STYLO} - 50 \text{ POP} &\leq 0 \\ \text{W3) } 10 \text{ COTON} + 3 \text{ STYLO} - 50 \text{ POP} + \text{SUP3} &= 0 \end{aligned}$$

On considère l'investissement dans le chapitre V.

1. La solution

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

Grâce au stylosanthès le revenu augmente de 10 millions de FCFA:

1) .12041820E+09

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
Le stylosanthès entre en force:		
STYLO	832.709300	.000000
A la place de la jachère:		
JACHERE	2239.946000	.000000
et l'assolement diminue très peu (- 50 ha surtout du sorgho):		
COTON	667.417100	.000000
MAIS	710.971000	.000000
SORGHO	738.956400	.000000
Les boeufs augmentent de 80 UBT:		
BOEUF	344.597000	.000000
Le nombre de zébus a plus que doublé:		
ZEBU	4210.052000	.000000
Ainsi que la production de viande:		
VIANDE	89370.000000	.000000

2. Les surplus

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
Le gardiennage des boeufs n'est pas limitant:		
GARDE1)	1121.612000	.000000
GARDE2)	115069.600000	.000000

Les valeurs duales des fourrages indiquent par exemple la valeur maximum en FCFA/UF que devraient avoir d'éventuels concentrés pour être rentables:

LIMFOUR1)	.000000	3.370487
LIMFOUR2)	.000000	6.740975
LIMRESI)	.000000	6.740975
LIMFOUR3)	.000000	4.073781

3. L'analyse de sensibilité

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:

VARIABLE	CURRENT COEF	OBJ COEFFICIENT RANGES	
		ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE

Le stylosanthès ne risque pas de disparaître à cause de son coût. Il faudrait une augmentation de 12000 FCFA pour changer la base de la solution:

STYLO -5000.000000 11908.580000 10577.770000

4. Le paramétrage de la population

VAR OUT	VAR IN	PIVOT ROW	RHS VAL	DUAL PRICE BEFORE PIVOT	OBJ VAL
			1.00000	210597.	.161217E+08
FOUR2	VENCOTON	2	57.6634	210597.	.280548E+08
SLK 4	SUP3	5	59.6815	66497.9	.281890E+08
JPEUL	SLK 15	15	59.9681	40067.1	.282005E+08
SLK 11	VENSOR	3	146.879	39278.3	.316142E+08
FOUR1	SLK 11	19	4129.95	37738.8	.181931E+09
VENMAIS	FOUR2	9	4620.16	23916.7	.193655E+09
STYLO	SLK 4	18	5243.90	22435.4	.207649E+09
JACHERE	SLK 3	14	5436.52	16117.2	.210753E+09
VENCOTON	CONSOR	2	11219.2	-12579.0	.138013E+09
			20000.0	-13000.0	.238624E+08

Le stylosanthès disparaît quelques années avant la jachère. Si c'est une activité d'avenir, son maintien dépend de l'intérêt de l'élevage par rapport à l'agriculture.

5. Discussion

La disparition finale du stylosanthès peut surprendre. Si on lançait des simulations en faisant augmenter progressivement la population, on montrerait progressivement que l'élevage régresse. En fait pour réussir l'intégration agriculture-élevage considérée comme essentiel pour la fertilité il faudrait d'une part une importante amélioration productive de l'élevage, et d'autre part des prix beaucoup plus attractifs.

III La production de fumier

Dans des zones dégradées on commence à observer le recours à la fumure organique. On peut donc l'introduire pour les simulations comme alternative.

Dans ce modèle nous avons d'abord remis la possibilité de faire du stylosanthès à 0.

Il faut définir deux nouvelles activités culturales (MAISFU et COTONFU). Il faut les ajouter dans tout le modèle avec les mêmes coefficients que les cultures sans fumier (COTON, MAIS, SORGH0), sauf pour les rendements (Rendement estimé), et le temps de récolte (Valeurs estimées).

Pour ne pas écrire dans toutes les lignes ces nouvelles activités, on ajoute deux lignes stipulant que la somme des deux itinéraires est égale à un itinéraire global:

DEFCOT) COTON - COTON0 - COTONFU = 0
 DEFMAIS) MAIS - MAIS0 - MAISFU = 0

Ainsi on peut ne pas modifier la fonction objectif et les lignes où les paramètres ne changent pas entre les deux itinéraires.

Par contre on change les rendements:

$$\begin{aligned} \text{COTON) } & \text{VENCOTON} - 1200 \text{ COTON} - 1400 \text{ COTONFU} \leq 0 \\ \text{MAIS) } & \text{VENMAIS} + \text{CONSMSAIS} - 2000 \text{ MAISO} - 2500 \text{ MAISFU} \leq 0 \end{aligned}$$

Les temps de récoltes changent:

$$\text{W2) } 41 \text{ SORGH} + 107 \text{ COTON} + 124 \text{ COTONFU} + 31 \text{ MAISO} + 37 \text{ MAISFU} - 50 \text{ POP} \leq 0$$

Le travail en période sèche et chaude change. Nous avons pris une journée par tonne de fumier mise au champ:

$$\text{GARDE2) } 10 \text{ COTON} + 2.2 \text{ BOEUF} - \text{JPEUL} - 50 \text{ POP} + \text{FUMIER} \leq 0$$

Selon des chiffres cités par Granier une UBT fournit 365 kilos de poudrette, 976 kilos de fumier avec des tiges ou 3333 kilos de fumier de fosse.

Pour maintenir un taux de matière organique suffisant les parcelles ont besoin de 5 tonnes de fumier, estimé à 20 tonnes de poudrette:

$$\text{FUCULT) } \text{COTONFU} + \text{MAISFU} - 0.2 \text{ FUMIER} - 0.05 \text{ POUDRET} \leq 0$$

0,2 correspond à 1/5 et 0,05 correspond à 1/20.

La matière fécale du fumier et de la poudrette sont produits à raison de 180 kilos par les ZEBUS (présents en saison sèche) et de 976 kilos par les BOEUF (Granier):

$$\text{FUELEV) } - 0.976 \text{ BOEUF} - 0.18 \text{ ZEBU} + \text{FUMIER} + \text{POUDRET} \leq 0$$

La production de 1 tonne de fumier nécessite 5000 kilos de paille:

$$\text{FUPAILLE) } 5000 \text{ FUMIER} - \text{PAILLE} \leq 0$$

1. La solution

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

Le revenu augmente légèrement:

$$1) \quad .11308120E+09$$

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
----------	-------	--------------

L'assolement change peu:

COTON	659.055000	.000000
MAIS	716.359600	.000000
SORGH	768.974200	.000000

Une faible partie du maïs reçoit du fumier:

COTON	659.055000	.000000
COTONFU	.000000	3887.617000
MAISO	592.021500	.000000
MAISFU	124.338000	.000000

Le troupeau ne change pas:

BOEUF	275.082900	.000000
ZEBU	1962.272000	.000000

Il produit 621 tonnes de fumier et pas de poudrette::

FUMIER	621.689900	.000000
POUDRET	.000000	3418.424000

2. Le paramétrage de la population

VAR OUT	VAR IN	PIVOT ROW	RHS VAL	DUAL PRICE BEFORE PIVOT	OBJ VAL
			1.00000	55570.5	.146407E+08
POUDRET	SLK 17	17	9.69809	55570.5	.151241E+08
SLK 24	COTON0	16	125.924	55570.5	.215828E+08
COTONFU	VENSOR	12	131.714	41166.0	.218212E+08
SLK 27	Z	10	292.433	38607.7	.280261E+08
SLK 6	MAISO	5	311.849	38607.7	.287757E+08
FOUR1	SLK 7	19	5045.55	38528.1	.211157E+09
JACHERE	SLK 5	2	5556.25	18721.2	.220717E+09
VENMAIS	SLK 6	7	5617.44	-7302.67	.220271E+09
VENCOTON	CONSOR	6	14294.5	-12566.3	.111232E+09
			20000.0	-13000.0	.370608E+08

La poudrette n'est intéressante qu'au tout début. Le coton avec fumier disparaît rapidement. Le surplus de fourrage de la première période disparaît à 504 (habitants).

3. Une solution durable

On peut introduire une contrainte de durabilité de la ressource sol. Berger (1991) a calculé que pour maintenir le taux de carbone et donc la fertilité des sols il faudrait au moins 2 tonnes de fumier par hectare cultivé par an ou 6 tonnes tous les 3 ans. On écrit alors que la surface cultivée doit recevoir au moins 2 tonnes de fumier (0,5) ou 8 tonnes de poudrette (0,012):

DURABLE) $SORGHO + COTON0 + COTONFU + MAISO + MAISFU$
 $- 0.5 FUMIER - 0.012 POUDRET \leq 0$

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

Le revenu monétaire n'est plus que de 34 millions soit 13000 FCFA par personne:

1) 34575500

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
VENMAIS	.000000	.401276
VENCOTON	530364.100000	.000000
VENSOR	.000000	25.403990

On observe uniquement une vente de coton. Il manque peu pour que du maïs soit vendu:

VENMAIS	.000000	.401276
VENCOTON	530364.100000	.000000
VENSOR	.000000	25.403990

Seulement 700 ha sont cultivés:

COTON	438.722000	.000000
MAIS	260.000000	.000000
SORGHO	.000000	.000000
JACHERE	4491.278000	.000000

5. Dont une bonne partie en coton sans fumier, seul le maïs en reçoit:

<i>COTON</i>	419.233200	.000000
<i>COTONFU</i>	19.488790	.000000
<i>MAISO</i>	.000000	4333.441000
<i>MAISFU</i>	260.000000	.000000

Beaucoup plus de boeufs et moins de zébus:

<i>BOEUF</i>	1250.000000	.000000
<i>ZEBU</i>	985.799600	.000000
<i>VIANDE</i>	38465.990000	.000000

1400 tonnes de fumier mais pas de poudrette:

<i>FUMIER</i>	1397.444000	.000000
<i>POUDRET</i>	.000000	36227.140000
<i>PAILLE</i>	6987220.000000	.000000

4. Le surplus

<i>ROW</i>	<i>SLACK OR SURPLUS</i>	<i>DUAL PRICES</i>
------------	-------------------------	--------------------

La terre est devenue limitante puisque les jachères ont maintenant une valeur fourragère. Un hectare rapporte en moyenne 4904 FCFA:

<i>TER)</i>	.000000	4904.208000
-------------	---------	-------------

Il reste du travail disponible:

<i>W1)</i>	53704.960000	.000000
<i>W2)</i>	68105.440000	.000000

De même il reste 25 millions de capital:

<i>CAPITAL)</i>	25644020.000000	.000000
-----------------	-----------------	---------

Il y a plus de boeufs que nécessaire pour la traction:

<i>LIMTRAC)</i>	555.127800	.000000
-----------------	------------	---------

C'est la garde des boeufs par les inactifs qui est devenue limitante. Un gardien en plus rapporterait 12545 FCFA:

<i>GARDE1)</i>	.000000	12545.420000
----------------	---------	--------------

Le gardiennage pendant la récolte n'est pas limitant:

<i>GARDE2)</i>	117861.400000	.000000
----------------	---------------	---------

Les fourrages sont limitants:

<i>LIMPARC)</i>	.000000	2926.705000
<i>LIMFOUR1)</i>	.000000	3.955007
<i>LIMFOUR2)</i>	.000000	7.910014
<i>LIMREST)</i>	.000000	7.910014
<i>LIMFOUR3)</i>	.000000	15.820030

Une personne en plus rapporte peu:

<i>LIMPOP)</i>	.000000	741.091100
----------------	---------	------------

La valeur d'une tonne de fumier sans tenir compte de la contrainte de durabilité:

<i>FUCULT)</i>	.000000	19000.000000
----------------	---------	--------------

La valeur d'une tonne de fèces animale:

<i>FUELEV)</i>	.000000	37997.890000
----------------	---------	--------------

La contrainte de durabilité (2 tonnes/ha) coûte 68000 FCFA /tonne de fumier:
DURABLE) .000000 68395.790000

5. Le paramétrage de la population

VAR OUT	VAR IN	PIVOT ROW	RHS VAL	DUAL PRICE BEFORE PIVOT	OBJ VAL
			1.00000	55570.5	.146407E+08
SLK 25	FUMIER	25	7.36422	55570.5	.149944E+08
SLK 26	PAILLE	26	7.36422	55570.5	.149944E+08
SLK 24	SLK 27	24	41.3387	55570.5	.168824E+08
POUDRET	COTON0	12	125.924	55570.5	.215828E+08
COTONFU	VENSOR	6	131.714	41166.0	.218212E+08
SLK 27	SLK 14	24	292.433	38607.7	.280261E+08
SLK 16	MAISO	16	356.707	37506.7	.304368E+08
VENSOR	SLK 5	6	399.676	37416.8	.320446E+08
MAISO	COTONFU	16	590.370	5451.83	.330842E+08
SLK 6	SLK 7	5	646.925	1702.89	.331805E+08
VENMAIS	SLK 6	7	694.978	1191.93	.332378E+08
FOUR1	SLK 16	19	2691.28	741.091	.347173E+08
COTONFU	MAISO	16	2826.54	-11818.5	.331187E+08
VENCOTON	ACHACER	11	6297.01	-12376.7	-.983424E+07
			20000.0	-16900.0	-.241415E+09

Le système cesse de fonctionner à 6297 habitants. Il ne produisait alors que du coton et du maïs pour nourrir la population. On constate que le système s'arrête de fonctionner avant la disparition de la jachère.

6. Discussion

Le système actuel n'est en fait pas excessivement minier puisqu'il reste des jachères ce qui évite encore pour un certain temps la nécessité du fumier. Le modèle précédent permet toutefois de montrer que les recommandations de la Recherche pour la durabilité agronomique nécessiteraient des coûts très élevés pour les systèmes. En fait le problème de la durabilité de la ressource sol et donc de la nécessité de la fumure organique s'apparentent aux problèmes d'investissements à effets pluri-annuels, ce qui nécessite une modélisation multipériodique.

IV Le transport

Prenons l'hypothèse d'une distance moyenne de 2 kilomètres des champs aux habitations (M.Berger 1990). Avec une capacité de charge de 500 kilos (Memento de l'agronome 1991) par voyage et une moyenne de 3 voyages par jour (M.Berger 1990) on arrive à 1500 kilos de charge par jour et par charrette tirée par deux boeufs. Vu leur volume le bois, la paille et les résidus ne font que 150 kilos par charrette. Une personne active peut porter 10 kilos par voyage et 3 voyages par jour soit 30 kilos par jour. Cette disponibilité en transport (charrette et population) doit couvrir les besoins en transports divers sur toute l'année:

TRANSP) VENMAIS + 3 VENCOTON + VENSOR - 1500 JCHARET - 30 JTRANPOP + 1000 FUMIER + CONSMSAIS + CONSOR + RESIDUS + 3 PAILLE + 3 BOIS <= 0

Nous mettons une consommation de bois de 2 tonnes par personne et par an, comprenant la cuisson, l'habitat, la stabulation et l'affouragement des boeufs:

$$LBOIS) \ 2000 \ POP - BOIS \leq 0$$

Soit 150 jours de transport (pas en saison des pluies ni à l'installation des cultures). Le nombre de journées de charrette détermine le nombre de charrettes nécessaires:

$$LIMCHAR) - 150 \ CHARRET + JCHARET = 0$$

Il faut 2 boeufs par charrette:

$$ATTEL) \ CHARRET - 0.5 \ BOEUF = 0$$

Chaque journée de charrette consomme une journée de travail à la période des récoltes (W2) mais nous donnons la possibilité de laisser la récolte en tas dans les champs et de la ramener plus tard en W3:

$$W2) \ 41 \ SORGH0 + 107 \ COTON0 + 124 \ COTONFU + 31 \ MAISO + 37 \ MAISFU - 50 \ POP + T2 = 0$$

T2 correspond aux jours de transports:

$$LTRANSP2) - T2 + JCHARET + JTRANPOP - JTRANS2 = 0$$

Pendant la saison sèche et chaude les paysans arrachent les pieds de coton, gardent les boeufs, font du transport et épandent le fumier, à raison de une tonne par jour et par personne::

$$W3) \ 10 \ COTON + 2.2 \ BOEUF - 50 \ POP + JTRANS2 + FUMIER \leq 0$$

Dans la fonction objectif nous ajoutons l'amortissement de la charrette (100000 FCFA/10 ans soit - 10000 FCFA):

Nous faisons une première simulation avec un transport uniquement par charrette:

$$33) \ JTRANPOP = 0$$

1. La solution

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

Le revenu diminue de 2 millions à cause de l'amortissement des charrettes:

$$1) \quad .11170570E+09$$

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
----------	-------	--------------

L'assolement reste le même.

134 charrettes sont nécessaires:

CHARRET	134.850600	.000000
---------	------------	---------

et près de 275 boeufs:

BOEUF	275.082900	.000000
-------	------------	---------

Pour 20227 journées de transport, soit en moyenne 8 journées par personne et par an:

JCHARET	20227.580000	.000000
JTRANPOP	.000000	.000000
JTRANS2	20227.580000	.000000

Une consommation annuelle de 5000 tonnes de bois:

BOIS	5000000.000000	.000000
------	----------------	---------

Les surplus

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
La période sèche n'est pas saturée:		
W3)	96954.990000	.000000
Toute la capacité de transport est utilisée. A la marge le transport d'un kilo vaut 0,04 FCFA:		
TRANSP)	.000000	.044444
Toutes les journées de charrettes sont utilisées. Une journée en plus vaut 66 FCFA:		
LIMCHAR)	.000000	66.666660
Il reste quelques boeufs qui ne transportent rien:		
ATTEL)	2.690900	.000000
Les besoins en bois sont satisfaits. Le besoin d'un kilo en plus vaudrait 0,13 FCFA:		
LBOIS)	.000000	.133333
"L'interdiction" du transport humain par le modèle coûte 1,33 FCFA par jour interdit:		
33)	.000000	1.333333

2. La solution avec le transport humain

En introduisant le transport humain la solution change:

OBJECTIVE FUNCTION VALUE
Le revenu n'augmente que de 164000 FCFA:
1) .11186460E+09

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
Moins de charrettes sont nécessaires:		
CHARRET	121.659400	.000000
Au total il faudrait consacrer 117000 jours au transport soit 46 jours par personne et par an:		
JTRANS2	117182.600000	.000000
On obtient 2000 journées de charrettes en moins:		
JCHARET	18248.910000	.000000
Presque 100000 jours de transport humains sont nécessaires:		
JTRANPOP	98933.660000	.000000
Pour transporter:		
VENMAIS	844888.100000 (kg)	.000000
VENCOTON	790866.000000 (kg)	.000000
VENSOR	768974.200000 (kg)	.000000
CONSMAIS	650000.000000 (kg)	.000000
FUMIER	621.689900 (kg)	.000000
RESIDUS	757875.400000 (UF)	.000000
PAILLE	3108450.000000 (kg)	.000000
BOIS	5000000.000000 (kg)	.000000

Le paramétrage de la population

VAR OUT	VAR IN	PIVOT ROW	RHS VAL	DUAL PRICE BEFORE PIVOT	OBJ VAL
			1.00000	55283.2	.146404E+08
SLK 25	FUMIER	5	30.8420	55283.2	.162902E+08
SLK 31	SLK 16	27	35.4967	51532.8	.165301E+08
SLK 18	COTON0	14	78.4226	49156.9	.186402E+08
COTONFU	MAISO	13	88.1797	45984.4	.190888E+08
POUDRET	VENSOR	6	177.815	44948.6	.231178E+08
MAISO	SLK 18	13	178.923	41166.6	.231635E+08
T2	MAISO	16	342.844	38265.8	.294360E+08
SLK 16	SLK 31	27	1711.72	38228.9	.817666E+08
FOUR1	SLK 9	20	5045.56	38181.7	.209058E+09
SLK 31	POUDRET	27	5396.14	18659.6	.215600E+09
JACHERE	SLK 5	2	5556.25	11816.6	.217492E+09
VENMAIS	T2	26	5590.52	-8338.50	.217206E+09
PAILLE	JACHERE	12	7027.35	-13154.6	.198305E+09
			20000.0	.000000	.145250E+08

La poudrette réapparaît à 5556 habitants, vraisemblablement parce que le transport du fumier se trouve alors limité.

Le transport est une des contraintes majeures dans les systèmes agraires africains. Il consomme du travail, du capital et de la terre par l'intermédiaire des animaux. L'analyse approfondie des interactions du transport avec le reste du système mériterait certainement plus d'attention .

Sixième partie: QUELQUES CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES

Dans la zone les contraintes environnementales ne sont pas liées à la mode mais à des problèmes vitaux tels que la fatigue des sols, le bois, l'eau. A défaut de normes biophysiques précises on peut faire des hypothèses.

I Le bois

En zone soudano-sahélienne le bois est souvent limitant avant la terre agricole. Les normes de production annuelle en m³/ha/an sont inspirées des travaux de J.CLEMENT. Pour la productivité d'une zone dégradée 0,250 m³/ha/an. Nous avons pris la même norme pour les zones cultivées. Pour une jachère nous avons pris 0,6 m³. Nous ajoutons une variable FORET qui représente le stock de bois sur pied formé dans les décennies précédentes:

$$PBOIS) - 0.25 COTON - 0.25 MAIS - 0.25 SORGHO - 0.6 JACHERE - 0.25 COTONFU - 0.25 MAISFU - 0.25 PARCOURS + BOIS - FORET = 0$$

Les normes d'utilisation du bois sont très hypothétiques. Une personne consommerait 3 stères, un UBT en consommerait 2:

$$UTIBOIS) VENBOIS + 2 BOEUF + 0.5 ZEBU + 2 POP - BOIS < = 0$$

Nous mettons la vente de bois à 300 FCFA par stère dans la fonction objectif:

$$+ 300 VENBOIS$$

Le bûcheronnage et la vente de bois nécessitent un supplément de travail dans la période sèche W3) à raison de une stère par personne et par jour:

$$W3) 10 COTON + 2.2 BOEUF - 50 POP + JTRANS2 + FUMIER + VENBOIS < = 0$$

On peut aussi explorer l'impact de la mécanisation, d'une plantation, des foyers améliorés ou du gaz...

II L'eau

La période limitante est bien sûr la saison chaude (mars, avril, mai). Nous prenons une durée de 100 jours. Nous estimons les besoins en eau de boisson à 5 l/jour aux intersaisons (octobre et de mars à mai). Une personne qui se lave matin et soir avec un demi seau d'eau consomme 10 l. Les besoins en eau estimés pour la fabrication de la bière serait de 20 l par litre de bière. Pour une consommation moyenne de 0,2 litre/personne/j on obtient une consommation d'eau par personne de 4 l/jour. Au total on obtient 19 l/personne/jour. Globalement une personne consommerait pendant la période limitante 1900 l, soit encore 1,9 m³..

Les besoins d'une UBT seraient de 40 l/j.

$$LIMEAU) 6 BOEUF + 4 ZEBU + 1.9 POP - EAU = 0$$

Les besoins en eau doivent être couverts par les puits, le forage et la source proche du village. Les normes sont hypothétiques:

$$LIMEAU) EAU - 500 PUIITS - 600 FORAGE - SOURCE < = 0$$

$$34) FORAGE = 3$$

$$35) PUIITS = 20$$

III La solution

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

Le revenu augmente de près de 50 % grâce à la vente de bois (vente qui n'existe pas dans la réalité par interdiction des forestiers).

1) .14884110E+09

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
----------	-------	--------------

Le coton diminue. Le maïs couvre l'essentiel:

COTON	83.320990	.000000
COTON0	83.320990	.000000
COTONFU	.000000	3830.521000
MAIS	1864.353000	.000000
MAIS0	1719.713000	.000000
MAISFU	144.640600	.000000
SORGHO	.000000	1713.701000
JACHERE	3242.326000	.000000

La vente de bois apparaît:

VENBOIS	122586.600000	.000000
---------	---------------	---------

L'utilisation des céréales:

VENMAIS	3151027.000000	.000000
VENCOTON	99985.190000	.000000
VENSOR	.000000	.000000
ACHACER	.000000	34.781710

Le bétail:

BOEUF	389.534900	.000000
ZEBU	1905.649000	.000000
VIANDE	43956.000000	.000000

Le nombre de charrettes nécessaires:

CHARRET	68.457330	.000000
---------	-----------	---------

Le travail de transport:

JCHARET	10268.600000	.000000
JTRANPOP	47153.250000	.000000

Pour transporter:

FUMIER	723.202800	.000000
CONSMAIS	650000.000000	.000000
CONSOR	.000000	4.999999
RESIDUS	757312.600000	.000000
FOUR2	1934317.000000	.000000
POUDRET	.000000	2391.538000
PAILLE	3616014.000000	.000000

Le bois utilisé provient essentiellement du bois produit les années précédentes. La production annuelle de bois est nettement insuffisante. Il s'agirait donc d'une exploitation minière:

BOIS	129318.500000	.000000
FORET	126229.000000	.000000

1470 m3 d'eau sont nécessaires:

EAU	1470.980000	.000000
PUITS	20.000000	.000000
FORAGE	3.000000	.000000

L'utilisation de la source n'est pas nécessaire:

SOURCE	.000000	.000000
--------	---------	---------

1. Les surplus

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
-----	------------------	-------------

Toute l'eau disponible n'est pas utilisée:

EAU)	10329.020000	.000000
------	--------------	---------

Toute la croissance annuelle de bois est utilisée:

PBOIS)	.000000	.000000
--------	---------	---------

Un stère de bois en plus ne vaut que 0,136 FCFA:

UTIBOIS)	.000000	.136054
----------	---------	---------

L'analyse de sensibilité

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:

VARIABLE	CURRENT COEF	OBJ COEFFICIENT RANGES	
		ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
La vente de bois disparaît en diminuant le prix de 243 FCFA:			
VENBOIS	300.000000	358.693600	243.853500

2. Le paramétrage de la population

VAR OUT	VAR IN	PIVOT ROW	RHS VAL	DUAL PRICE BEFORE PIVOT	OBJ VAL
			1.00000	70287.6	.146549E+08
SLK 26	Z	25	7.36443	70287.6	.151023E+08
SLK 25	FUMIER	7	30.8457	70287.6	.167527E+08
SLK 27	PAILLE	27	30.8457	68506.2	.167527E+08
SLK 31	SLK 16	13	37.8067	64997.2	.172052E+08
Z	SLK 28	25	41.4882	62440.9	.174350E+08
SLK 37	FORET	37	48.1846	62440.9	.178532E+08
JTRANPOP	COTONO	28	48.2072	62429.3	.178546E+08
COTONFU	MAISO	15	48.2072	58716.6	.178546E+08
POUDRET	VENCOTON	36	261.093	57080.5	.300062E+08
SLK 9	JTRANPOP	9	291.207	54324.0	.316422E+08
SLK 28	Z	25	342.778	53307.7	.343913E+08
SLK 16	SLK 31	13	542.939	53307.7	.450614E+08
FOUR1	VENSOR	20	4604.75	53028.4	.260453E+09
JTRANPOP	SLK 9	9	4979.32	46964.4	.278044E+09
JACHERE	SLK 5	2	5556.25	35719.8	.298652E+09
VENMAIS	JTRANPOP	16	5867.82	5697.98	.300427E+09
VENCOTON	CONSOR	36	14294.5	2897.88	.324847E+09
			20000.0	2060.95	.336605E+09

La durabilité de la ressource sol (Z) cesse dès le 41^{ème} habitant. Dès le 48^{ème} habitant l'exploitation minière du bois commence. Le système est économiquement viable jusqu'à 14294 habitants certainement grâce à la vente de bois.

Discussion

L'utilisation du bois pose des problèmes rapides dans les zones soudaniennes à forte croissance démographique. Ici il faudrait simuler l'impact d'une plantation protégée et productive, des foyers améliorés, du gaz...

Septième partie: LES INVESTISSEMENTS

Les investissements concernent l'élevage, le gros matériel comme les charrues ou les tracteurs, éventuellement les parcs d'hivernage, les clôtures du stylosanthès ou les diguettes. Comment rendre compte dans un modèle annuel d'un investissement aux effets pluri-annuels?

Pour les investissements déjà réalisés on peut utiliser l'amortissement, plus les frais financiers, plus les frais annuels affectés à l'activité.

Pour les achats se pose le problème du financement. Nous ne verrons ici que le cas de l'achat de nouvelles charrues.

I L'achat d'une charrue

Le besoin en charrues du village s'exprime comme pour les boeufs de traits avec la norme de 1 charrue pour 8 hectares de maïs ou de coton.

$$LIMCHAR) 0.125 \text{ COTON} + 0.125 \text{ MAIS} - CHARRUE - NVLCHAR = 0$$

CHARRUE désigne les charrues existantes et NVLCHAR désigne les nouvelles charrues. Or le nombre actuel de charrue n'est que d'une centaine:

$$LIMCHAR) CHARRUE = 100$$

Si le besoin en charrue est supérieur, il faudra donc modéliser la possibilité d'acheter des nouvelles charrues. La contrainte qui est d'ordre financier doit être intégrée. Dans une ligne on met le montant total de l'investissement, la somme capable d'autofinancer et le crédit:

$$A_CHAR) 200000 \text{ NVLCHAR} - AUTOCHAR - CREDCHAR < 0$$

La capacité d'autofinancement AUTOCHAR est déterminée par le solde de trésorerie :

$$LSOLDE) 600 \text{ VENBOIS} + 45 \text{ VENMAIS} + 95 \text{ VENCOTON} + 50 \text{ VENSOR} - 18000 \text{ COTON} - 5850 \text{ NPK} - 5150 \text{ UREE} - 3000 \text{ MAIS} - 1000 \text{ SORGH} - 65 \text{ ACHACER} + 300 \text{ VIANDE} - 20000 \text{ POP} - SOLDE = 0$$

$$LAUTO) AUTOCHAR - SOLDE < = 0$$

Dans la fonction objectif on ajoute le coût des charrues existantes (amortissement, frais de fonctionnement et frais financiers), des nouvelles charrues (amortissement et frais de fonctionnement) et le coût du crédit en terme de taux d'intérêt et le coût d'opportunité de l'autofinancement:

$$\begin{aligned} & - 10000 \text{ CHARRUE} - 12000 \text{ NVLCHAR} - 0.02 \text{ CREDCHAR} \\ & - 0.04 \text{ AUTOCHAR} \end{aligned}$$

II La solution

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

Le revenu diminue de 3 millions:

1) .14583270E+09

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
COTON	83.320990	.000000
MAIS	1864.353000	.000000
SORGHO	.000000	.000000
BOEUF	389.534900	.000000
ZEBU	1905.649000	.000000
CHARRET	68.457330	.000000

Les 100 charrues imposées:

CHARRUE 100.000000 .000000

Le village pourrait acheter 143 nouvelles charrues:

NVLCHAR 143.459300 .000000

Elles sont financées par le crédit pour 14 millions de FCFA:

CREDCHAR 14345930.000000 .000000

Pas d'autofinancement:

AUTOCHAR .000000 .020000

Le solde de trésorerie est de 138 millions:

SOLDE 138033600.000000 .000000

Les surplus

ROW SLACK OR SURPLUS DUAL PRICES

Si on donnait une charrue en plus on gagnerait 14000 FCFA:

LIMCHAR) .000000 14000.000000

Si on retirait une ancienne charrue on perdrait 4000 FCFA:

LCHARRU) .000000 4000.000000

Dans la ligne d'achat des charrues, on obtient le coût d'opportunité du crédit (2%).

A_CHAR) .000000 .020000

138 millions de capacité d'autofinancement ne sont pas utilisés:

LAUTO) 138033600.000000 .000000

L'analyse de sensibilité

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:

VARIABLE	CURRENT COEF	OBJ COEFFICIENT RANGES	
		ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
CHARRUE	-10000.000000	INFINITY	4000.000000
NVLCHAR	-12000.000000	4000.000000	4422.287000
CREDCHAR	-.020000	.020000	.020000
AUTOCHAR	-.040000	.020000	INFINITY

ROW	CURRENT RHS	RIGHTHAND SIDE RANGES	
		ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
LIMTRAC	.000000	142.269200	344.497800
LIMCHAR	.000000	143.459300	INFINITY
LCHARRU	100.000000	143.459300	100.000000
A CHAR	.000000	14345930.000000	INFINITY
LAUTO	.000000	INFINITY	138033600.000000
LSOLDE	.000000	138033600.000000	INFINITY

Le paramétrage de la population

Nous ne montrons ici que ce qui change par rapport au résultat précédent:

VAR OUT	VAR IN	PIVOT ROW	RHS VAL	DUAL PRICE BEFORE PIVOT	OBJ VAL
SLK 39	NVLCHAR	9	1026.87	52054.5	.697232E+08
SLK 40	CREDCHAR	40	1026.87	51859.8	.697232E+08

A 1026 habitants, l'achat de charrues à crédit devient nécessaire. Les lignes 39 (qui limite le nombre de vieilles charrues) et 40 (qui limite la capacité d'autofinancement) deviennent contraignantes.

Discussion

Etant donné l'octroi de crédits subventionnés et "captifs", et la relative rentabilité de l'agriculture, l'investissement est une opération possible dans la zone cotonnière. Les innovations ont plus de chances d'être adoptées ici que dans le reste du Burkina Faso.

Huitième partie: SIMULER L'AVENIR

Nous avons vu comment, en faisant varier la variable population, nous pouvions identifier le type de contraintes auxquelles le système agricole sera soumis si la croissance démographique se poursuit. En même temps que la population on peut faire varier d'autres facteurs selon des hypothèses arbitraires, fournies par des prolongements de tendance ou par d'autres types de modèles (financiers, biophysiques).

Si on veut faire des scénarios prospectifs avec un modèle annuel, on peut faire varier la population, et voir ce qui risque de se passer dans le long terme. Parallèlement on peut faire varier d'autres paramètres du modèle grâce aux données fournies par exemple par d'autres types de modèles. Ainsi on peut faire varier le rendement et l'état du sol grâce à des modèles biophysiques, le nombre d'animaux selon des modèles zootechniques, le capital selon des modèles financiers. On peut aussi les faire varier en prolongeant les tendances actuelles.

Une deuxième manière d'explorer le futur consiste à faire cheminer un modèle récursif. Il s'agit ici de faire tourner le modèle d'année en année. Les résultats d'une année en cheptel, en matériel, en état du sol et en argent deviennent les ressources du début de l'année suivante. On peut obtenir ainsi un cheminement sur quelques années.

La troisième manière consiste à construire un modèle multipériodique. Dans ce cas chaque activité est décomposée selon le nombre d'années étudiées. Si on prend 10 ans, chaque activité est décomposée en 10 années. La fonction objectif maximisera la somme des revenus annuels actualisés. Pour traduire la préférence des acteurs pour les revenus du présent par rapport aux revenus futurs, les économistes affectent un taux d'actualisation croissant aux revenus en fonction de leur éloignement dans le temps. Un revenu espéré dans 10 ans, s'il est actualisé a une valeur très faible. On prend généralement le taux d'intérêt comme taux d'actualisation. L'évolution des solutions dans ce genre de modèle est différente d'un modèle récursif qui maximise le revenu pour chaque année. D'autre part, à moins d'être extrêmement simplifiée, l'écriture d'un tel modèle est trop lourde pour un logiciel comme LINDO, ou sur la matrice d'un tableur. Il faut alors utiliser des logiciels plus complexes comme GAMS ou LINGO.

CONCLUSION

La modélisation des exploitations agricoles est un exercice très courant en pays anglo-saxons. L'auteur espère avoir montré que la micro-informatique a rendu cet outil d'un accès facile et peu coûteux pour un agronome. L'approche systémique préconisée par la Recherche depuis de nombreuses années trouve ici un outil qui permet d'intégrer les différentes composantes d'un système agraire. D'autre part on s'aperçoit qu'en Afrique les données sont maintenant suffisantes pour pouvoir approcher de manière quantitative les réalités de terrain. Enfin cet exercice montre tout l'intérêt de l'échelle villageoise pour appréhender le fonctionnement de l'agriculture africaine basée en grande partie sur les relations agriculture/élevage et sur les ressources non privées (Forêts et pâturages).

Ces différents exemples ont été survolés rapidement en privilégiant les techniques de modélisation. C'est pourquoi les conclusions pratiques qu'on peut obtenir pour chaque exemple peuvent paraître décevantes. Il faut relancer les simulations pour différentes valeurs de prix, de population, de capital, de coefficients techniques, et visualiser sur des graphiques pour interpréter ce qui se passe.

Les experts en modélisation reviennent des modèles trop désagregés donc trop grands qui ne permettent pas une interprétation rapide des changements de solution. A partir de simulations faites sur de très petits modèles on peut identifier des logiques paysannes qui échappent à une analyse uniquement empirique ne serait-ce qu'à cause des interactions à prendre en compte.

BIBLIOGRAPHIE

- ACHARD (F.).- Contribution à l'étude des pâturages naturels des savanes Nord-Soudaniennes de la région de Ouagadougou.- ISN - IDR. - 1988.- 65 p.
- BADINI (O.).- Les pâturages naturels de Gampéla - CRPA Mouhoun. Programme gestion des terroirs villageois.- 1988.- 53p.
- BARBIER (B.).- Conditions et incidence prévisionnelle d'une intégration agriculture élevage dans la zone cotonnière burkinabé. Les cas de Bala et Daboura au Burkina faso. Essai problématique et méthodologique.- Montpellier, Centre Inter-national de Hautes Etudes Agronomiques méditerranéennes.- 1990.- 40 p.
- BARBIER (B.).- Ressources naturelles et durabilité.- Montpellier, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie, DEA d'économie rurale, 1991.
- BELEM (P.C.).- Coton et système de production à l'ouest du Burkina Faso.- Thèse de 3ème cycle Montpellier U. Paul Valéry 1985.- 349 p.
- BENOIT-CATTIN (M.), CALKINS (P.), KEBE (D.), SABATIER (J-L.).- 1992.- Perspectives de modélisation des systèmes agraires villageois, l'exemple des régions cotonnières du Mali.- In: les cahiers de la Recherche Développement N°29, 1992, p14-29.
- BERGER (M.) et Al.- Evaluation de l'emprise agricole. Image de la région de Satiri.- CIRAD-INERA, 1989.- 14p.
- BERGER (M.), BELEM (P.C.), DAKOUO (D.), HIEN (V.).- Le Spot de maintien de la fertilité des sols dans l'Ouest du Burkina Faso, et la nécessité de l'association Agriculture-Elevage.- Coton et Fibres Tropicales XIII.- pp 201-210.
- BERGER (M.).- 1984.- Rapport d'étude et d'expérimentation sur la motorisation intermédiaire. Campagnes 82 et 83.- IRCT, SOFITEX. - 55 p. + annexes.
- BERGER (M.).- 1991.- La gestion des résidus organiques à la ferme.- In: Savanes d'Afrique terres fertiles? Actes des Rencontres internationales Montpellier, 10-14 déc 1990. CIRAD, p293-316.
- BOUDET (G.).- 1978.- Manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères.- Ministère de la coopération, IEMVT, Paris.- 25p.
- BOURZAT (D.).- 1989.- Les petits ruminants dans les systèmes de production des zones arides et semi arides de Somalie et du Burkina Faso.
- BOUSSARD (J.M), DAUDIN (J.).- 1988.- La programmation linéaire dans les modèles de production.- Paris, Ed. Masson. col. INRA. Actualité Scientifique et Agronomique, 1988.- 128 p.
- BREMAN et al.- 1986.- Analyse des conditions de l'élevage et propositions de politiques et de programmes.- Burkina Faso. Wageningen OCDE, CILSS, CLUB DU SAHEL.-202 p.

- CALKINS (H.) et BENOIT-CATTIN (M.).- 1991.- Pour une économie des villages.- In: les cahiers de la Recherche Développement, n°29.- p73-79.
- CLEMENT (J.).- Estimation des volumes et de la productivité des formations mixtes forestières et graminéennes tropicales.- Bois et forêts des tropiques n°207.- 15p.
- DEYBE (D.).- Rough draft.- Document non publié.- Mai 1992.
- DSA/CIRAD.- Relations Agriculture Elevage.- Actes IEMVT du séminaire du DSA CIRAD. Montpellier 10-13 septembre 1985. 41 communications. 337p.
- FAURE (G.).- 1991.- Système de production et petite motorisation dans l'ouest du Burkina Faso.- CIRAD, 1987. en cours de publication - 141 p.1992.
- FAURE (G.).- 1992.- Intensification et sédentarisation des exploitations mécanisées.- Rapport annuel en agroéconomie. Campagne 1991/92.- 52p.
- ENGREF (Ecole Nationale du Génie Rural et des Eaux et Forêts).- 1989.- La Réserve Biosphère de la marre aux hippopotames. Etude préalable à un aménagement de la réserve et de la zone périphérique.- Montpellier, ENGREF 1989, avec la collaboration de l'Unesco et du Ministère de l'Environnement et du Tourisme du Burkina Faso.
- GRANIER (P).- Etude de factibilité d'actions de développement rural intégré dans les provinces du Houet et de la Kossi.- volume 4.- Ministère de l'agriculture et de l'élevage BF, 1989.-75p.
- KEBE (D).- 1989.- 1989.- Les relations agriculture-élevage et le devenir des systèmes de production. Fongebougou Sud-Mali.- ENSAM, Univ. Montpellier I.- 65p.
- LABONNE (M).- 1989.- Un modèle de simulation de l'agriculture malienne.-Thèse, Univ. Montpellier I, 1989.- 298 p.
- LHOSTE (P) - Etude de l'élevage dans le développement des systèmes agro-pastoraux au Sine-Saloum (Senegal).- Thèse de D.I., INA Paris-Grignon. Maisons-Alfort, IEMVT/CIRAD, Etudes et Synthèses n°21. 1986- 314p.
- MINISTERE FRANCAIS DE LA COOPERATION.- 1984 .- Memento de l'Agronome. Edition 1984.
- PIERI (C).- 1989.- Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara.- Ministère de la coopération et du développement et CIRAD-IRAT, 1989.
- SCHRAGE (L.).- LINDO, An Optimization Modeling System.- San Francisco, The scientific Press, 4ème édition.- 369p.
- TAUER (L.W).- Target Motad. In: American Journal of Agriculture Economics n°65, 1983.- pp. 606-10.
- UNRISD.- Systèmes alimentaires en Afrique, 1ère phase Etudes par pays: Le Burkina Faso (Résumé du Rapport National).- Janvier 1986.- 51 p.

- VALETTE (F.).- 1990.- Les outils de la recherche opérationnelle: analyse des fonctions et des complémentarités aux niveaux micro, meso et macro-économique.- In: Représentation, modélisation, développement. Matarasso (Ed). Agro-polis, GIS (Systèmes énergétiques et utilisations de l'espace. 1990.- p315-336.
- WILLIAMS (J.R), JONES (C.A), DYKE (P.T).- 1987.- EPIC, the Erosion Productivity Impact Calculator.- Temple: USDA Agricultural Research Service, Economics Research Service and Soil Conservation Service, 1987.- 148p.

Annexe: DEFINITIONS UTILISEES DANS LE TEXTE

La programmation linéaire est une procédure mathématique qui détermine l'allocation optimale des ressources rares.

VARIABLE Ce sont les activités du modèle.

VALUE C c'est le niveau optimal des activités du modèle.

REDUCED COST (Coût réduit) d'une activité **inutilisée**:

- C'est le montant par lequel la marge (ici en FCFA) de la variable doit être augmentée pour que la variable en question obtienne une valeur positive (dans sa propre unité) dans la solution optimale, ou
- Montant par lequel le revenu total va diminuer si une unité de cette activité est entrée de "force" dans la solution.

DUAL PRICES (valeur duale ou marginale) d'une contrainte:

Le montant de l'augmentation de la valeur de la fonction objectif si on ajoute une unité de la ressource associée à cette contrainte.

ou (ce qui revient au même):

Le montant de la baisse de la valeur de la fonction objectif si on enlevait une unité de la ressource associée à cette contrainte.

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED: Intervalle dans lequel la base de la solution ne change pas, c'est-à-dire que les mêmes activités restent dans la solution. La fonction objectif peut changer, le niveau des activités (en hectares, en kilos...) peut changer, mais les mêmes activités restent. A la limite de cet intervalle des activités peuvent entrer ou sortir de la solution ou des lignes de contraintes deviennent limitantes ou au contraire ne sont plus limitantes.

CURRENT COEF = Coefficient actuel des activités dans la fonction objectif.

OBJ COEFFICIENT RANGES = Intervalle des coefficients des activités de la fonction objectif

ALLOWABLE INCREASE = Hausse permise du coefficient. Au delà la base change.

ALLOWABLE DECREASE = Baisse permise du coefficient. Au delà la base de la solution change.

Le **RIGHTHAND SIDE RANGES** ou membre de droite des équations indique les quantités de ressources disponibles

ROW = La ligne de contrainte du modèle.

CURRENT RHS = La valeur actuelle du membre de droite (en général une ressource).

OBJECTIVE FUNCTION VALUE = La valeur de la fonction objectif (en FCFA):

L'analyse "post-optimale" consiste à interpréter les résultats après que le programme ait fourni une solution optimale. L'interprétation se porte sur la valeur des variables, les coefficients, les paramètres, les coûts réduits, les valeurs duales et l'analyse de sensibilité.

Le paramétrage consiste à faire varier les paramètres (population, rendements, prix) à relancer le programme et à mesurer l'influence des paramètres sur le système.

La Goutte d'Encre .

ATELIER DE REPROGRAPHIE

67.65.30.96